



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG

Stand 03.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2	
Abbildungsverzeichnis	8	
Tabellenverzeichnis	10	
Abkürzungsverzeichnis	13	
Glossar	14	
1	Gegenstand und Zielsetzung	15
2	Anwendungsprinzipien	16
3	Bewertungsmodul	17
3.1	Ziel des Bewertungsmoduls	17
3.2	Datenbankstruktur	18
3.3	Anwendung des Bewertungsmoduls	19
3.3.1	Generelle Bedienung	19
3.3.2	Formular Gebiete	19
3.3.3	Formular Kriterien	24
3.3.4	Formular Indikatoren	27
3.3.5	Formular Geosynthese	34
3.3.6	Formular Daten	37
3.3.7	Formular Literatur	39
4	Datengrundlage	41
5	Vorgehensweise	42
6	Arbeitshilfe für die Geosynthese	44
6.1	Beschreibung der Geosynthese	44
6.2	Anwendung der Geosynthese	44
7	Arbeitshilfe für die Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG	46
7.1	Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)	46
7.1.1	Beschreibung des Kriteriums	46
7.1.2	Anwendung des Kriteriums	46
7.1.3	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Grundwasserangebot	47
7.1.3.1	Beschreibung – Grundwasserangebot	47
7.1.3.2	Anwendung – Grundwasserangebot	48
7.1.4	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Grundwasserströmung	50
7.1.4.1	Beschreibung – Grundwasserströmung	50
7.1.4.2	Anwendung – Grundwasserströmung	51

7.1.5	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Diffusionsgeschwindigkeit	52
7.1.5.1	Beschreibung – Diffusionsgeschwindigkeit	52
7.1.5.2	Anwendung – Diffusionsgeschwindigkeit	53
7.1.6	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein	54
7.1.6.1	Beschreibung – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein	54
7.1.6.2	Anwendung – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein	56
7.2	Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)	57
7.2.1	Beschreibung des Kriteriums	57
7.2.2	Anwendung des Kriteriums	57
7.2.3	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Barrierewirksamkeit	58
7.2.3.1	Beschreibung – Barrierewirksamkeit	58
7.2.3.2	Anwendung – Barrierewirksamkeit	60
7.2.4	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Robustheit und Sicherheitsreserven	66
7.2.4.1	Beschreibung – Robustheit und Sicherheitsreserven	66
7.2.4.2	Anwendung – Robustheit und Sicherheitsreserven	66
7.2.5	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	71
7.2.5.1	Beschreibung – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	71
7.2.5.2	Anwendung – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	72
7.2.6	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Indikator „Potenzialbringer“ bei Tonstein – Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet	73
7.2.6.1	Beschreibung – Potenzialbringer	73
7.2.6.2	Anwendung – Potenzialbringer	74
7.2.7	Zusammenfassende Bewertung – Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper	76
7.3	Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)	77
7.3.1	Beschreibung des Kriteriums	77
7.3.2	Anwendung des Kriteriums	77
7.3.3	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	78
7.3.3.1	Beschreibung – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	78

7.3.3.2	Anwendung – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	80
7.3.4	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	86
7.3.4.1	Beschreibung – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	86
7.3.4.2	Anwendung – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	86
7.4	Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)	88
7.4.1	Beschreibung des Kriteriums	88
7.4.2	Anwendung des Kriteriums	88
7.4.3	Indikator – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	90
7.4.3.1	Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	90
7.4.3.2	Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	90
7.4.4	Indikator – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	91
7.4.4.1	Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	91
7.4.4.2	Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	91
7.4.5	Indikator – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	92
7.4.5.1	Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	92
7.4.5.2	Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat	92
7.5	Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften (Anlage 5 (zu § 24 Abs. 4) StandAG)	93
7.5.1	Beschreibung des Kriteriums	93
7.5.2	Anwendung des Kriteriums	93
7.6	Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten (Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG)	97
7.6.1	Beschreibung des Kriteriums	97
7.6.2	Anwendung des Kriteriums	97

7.6.3	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	98
7.6.3.1	Beschreibung – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	98
7.6.3.2	Anwendung – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	99
7.6.4	Bewertungsrelevante Eigenschaft – Rückbildbarkeit von Rissen	101
7.6.4.1	Beschreibung – Rückbildbarkeit von Rissen	101
7.6.4.2	Anwendung – Rückbildbarkeit von Rissen	102
7.6.5	Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren	103
7.6.5.1	Beschreibung der zusammenfassenden Beurteilung	103
7.6.5.2	Anwendung der zusammenfassenden Beurteilung	103
7.7	Kriterium zur Bewertung der Gasbildung (Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)	104
7.7.1	Beschreibung des Kriteriums	104
7.7.2	Anwendung des Kriteriums	104
7.8	Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit (Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)	106
7.8.1	Beschreibung des Kriteriums	106
7.8.2	Anwendung des Kriteriums	106
7.8.3	Indikator – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung	107
7.8.3.1	Beschreibung – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung	107
7.8.3.2	Anwendung – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung	108
7.8.4	Indikator – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen	109
7.8.4.1	Beschreibung – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen	109
7.8.4.2	Anwendung – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen	109
7.9	Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)	110
7.9.1	Beschreibung des Kriteriums	110
7.9.2	Anwendung des Kriteriums	110
7.9.3	Indikator – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide	111
7.9.3.1	Beschreibung – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide	111
7.9.3.2	Anwendung – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide	112
7.9.4	Indikator – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche	113

7.9.4.1	Beschreibung – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche	113
7.9.4.2	Anwendung – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche	113
7.9.5	Indikator – Ionenstärke des Grundwassers	114
7.9.5.1	Beschreibung – Ionenstärke des Grundwassers	114
7.9.5.2	Anwendung - Ionenstärke des Grundwassers	114
7.10	Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)	115
7.10.1	Beschreibung des Kriteriums	115
7.10.2	Anwendung des Kriteriums	115
7.10.3	Indikator – Öffnungsweite der Gesteinsporen	117
7.10.3.1	Beschreibung – Öffnungsweite der Gesteinsporen	117
7.10.3.2	Anwendung – Öffnungsweite der Gesteinsporen	117
7.10.4	Indikator – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser	118
7.10.4.1	Beschreibung – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser	118
7.10.4.2	Anwendung – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser	119
7.10.5	Indikator – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers	120
7.10.5.1	Beschreibung – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers	120
7.10.5.2	Anwendung – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers	120
7.10.6	Indikator – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers	121
7.10.6.1	Beschreibung – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers	121
7.10.6.2	Anwendung – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers	121
7.10.7	Indikator – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser	122
7.10.7.1	Beschreibung – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser	122
7.10.7.2	Anwendung – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser	122
7.10.8	Indikator – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser	123
7.10.8.1	Beschreibung – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser	123

7.10.8.2	Anwendung – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser	123
7.11	Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)	124
7.11.1	Beschreibung des Kriteriums	124
7.11.2	Anwendung des Kriteriums	124
7.11.3	Indikator – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	126
7.11.3.1	Beschreibung – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	126
7.11.3.2	Anwendung – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	127
7.11.4	Indikator – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich	132
7.11.4.1	Beschreibung – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich	132
7.11.4.2	Anwendung – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich	133
7.11.5	Indikator – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten	134
7.11.5.1	Beschreibung – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten	134
7.11.5.2	Anwendung – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten	135
8	Arbeitshilfe für die zusammenfassende Bewertung je identifiziertes Gebiet	138
	Literaturverzeichnis	139
	Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	144

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgehensweise in der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG) für die Ermittlung der Teilgebiete auf Grundlage der identifizierten Gebiete (§ 13 StandAG)	15
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Tabellenbeziehungen im Bewertungsmodul.	19
Abbildung 3:	Ansicht des blanko „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul	20
Abbildung 4:	Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Gebiete“ im Bewertungsmodul	24
Abbildung 5:	Ansicht des blanko „Formular Kriterien“ (für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul.	26
Abbildung 6:	Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Kriterien“ (für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul.	27
Abbildung 7:	Ansicht des blanko „Formulars Indikatoren“ (hier beispielhaft für Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ von Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul	31
Abbildung 8:	Ansicht des Anlagefelds im „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul	31
Abbildung 9:	Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Indikatoren“ im Bewertungsmodul.	33
Abbildung 10:	Ausschnitt des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Indikatoren“ für den Indikator „Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers“ (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul	34
Abbildung 11:	Ansicht des blanko „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul	36
Abbildung 12:	Ansicht des ausgefüllten „Formulars Geosynthese“ im Bewertungsmodul	37
Abbildung 13:	Ansicht des blanko „Formular Daten“ im Bewertungsmodul	38
Abbildung 14:	Beispielhafte Ansicht aus der ArbeitsDB zur Anzeige der Dateigruppen_ID, DokID, Datei_ID und Datenlieferungs_ID	39
Abbildung 15:	Ansicht des blanko „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul	40
Abbildung 16:	Effektive Diffusionskoeffizienten von Tritium (senkrecht zur Schichtung gemessen) verschiedener Tongesteinsformationen.	55
Abbildung 17:	Darstellung der räumlichen Konfiguration der sicherheitsrelevanten Bestandteile für den Fall, dass sich der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Wirtsgestein befindet.	58
Abbildung 18:	Ansicht der Statistik der Eigenschaften der berechneten Mächtigkeit im SKUA-GOCAD Modell	61
Abbildung 19:	Ansicht der Eingabefelder zur Erstellung einer neuen Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell	62

Abbildung 20:	Ansicht des Eingabefeldes zur Erstellung einer Kurve basierend auf einer zuvor erstellten Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell	62
Abbildung 21:	Ansicht der Eingabefenster zur Erstellung eines neuen Contour set im SKUA-GOCAD Modell	67
Abbildung 22:	Ansicht des Eingabefeldes zur Erstellung einer neuen Kurve basierend auf der zuvor erstellten Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell	68
Abbildung 23:	Klassifizierung der Doppelsalinare nach verschiedenen Internbautypen (Fleig & Röhling 2019)	83
Abbildung 24:	Klassifizierung der Salinarstrukturen nach Internbautypen (Pollok et al. 2016)	84
Abbildung 25:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten (Lux et al. 2002)	94
Abbildung 26:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten (Lux & Eberth 2002b)	95
Abbildung 27:	Schematischer Verlauf verschiedener Sorptionsisotherme, inklusive der Henry-Isotherme (Brasser et al. 2002)	111
Abbildung 28:	Schematischer Workflow für die Bewertung der Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für die Wirtsgesteine Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz	129
Abbildung 29:	Schematischer Workflow für die Bewertung der Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für das Wirtsgestein Tongestein und das kristalline Wirtsgestein	131
Abbildung 30:	Schematischer Workflow für die Bewertung des Indikators „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für die Wirtsgesteine Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz	136

Abbildung 31:	Schematischer Workflow für die Bewertung des Indikators „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für das Wirtsgestein Tongestein und das kristalline Wirtsgestein	137
---------------	---	-----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul	20
Tabelle 2:	Pflichtfelder für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul	23
Tabelle 3:	Notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul	24
Tabelle 4:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul	25
Tabelle 5:	Pflichtfelder für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul	26
Tabelle 6:	Notwendig einzuhaltende Bearbeitungsreihenfolge der Felder für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul	26
Tabelle 7:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul	28
Tabelle 8:	Pflichtfelder für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul	32
Tabelle 9:	Notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul	32
Tabelle 10:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul	34
Tabelle 11:	Pflichtfelder für das „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul	36
Tabelle 12:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Daten“ im Bewertungsmodul	37
Tabelle 13:	Pflichtfelder für das „Formular Daten“ im Bewertungsmodul	38
Tabelle 14:	Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul	39
Tabelle 15:	Pflichtfelder für das „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul	40
Tabelle 16:	Übersicht der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG für welche jeweils ein wirtsgesteinsspezifischer Referenzdatensatz für die Bewertung der identifizierten Gebiete zur Verfügung steht	42
Tabelle 17:	Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps	48
Tabelle 18:	Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers	51

Tabelle 19:	Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient	53
Tabelle 20:	Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Absolute Porosität	55
Tabelle 21:	Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Verfestigungsgrad	56
Tabelle 22:	Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Barrierenmächtigkeit	59
Tabelle 23:	Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	60
Tabelle 24:	Barrieregesteinsmächtigkeiten für die Anwendung des Indikators „Barrierenmächtigkeit“ (verdoppelte Barrierenmächtigkeit aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)	60
Tabelle 25:	Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	66
Tabelle 26:	Flächenbedarfe entsprechend der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 71).	71
Tabelle 27:	Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit	71
Tabelle 28:	Werte der vielfachen flächenhaften Ausdehnungen für die verschiedenen Wirtsgesteine, welche für die Anwendung des Indikators „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)“ (Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) zu verwenden sind	72
Tabelle 29:	Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können	74
Tabelle 30:	Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich	78
Tabelle 31:	Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften	79
Tabelle 32:	Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit	80
Tabelle 33:	Auszug aus StandAG Anlage 3 – Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	86
Tabelle 34:	Wertungsgruppen der zulässigen Teufenlage, entnommen aus AkEnd (2002)	95

Tabelle 35:	Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit	98
Tabelle 36:	Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit	99
Tabelle 37:	Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risschließung	101
Tabelle 38:	Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung	102
Tabelle 39:	Wertungsgruppen der „Zusammenfassenden Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren“ (Auszug aus Anlage 6 (zu § 24) Absatz 4 StandAG	103
Tabelle 40:	Auszug aus Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Wasserangebot im Einlagerungsbereich	104
Tabelle 41:	Auszug aus Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide	112
Tabelle 42:	Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	127
Tabelle 43:	Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	132
Tabelle 44	Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksame	135

Abkürzungsverzeichnis

3D, 2D	Dreidimensional, zweidimensional
AK	Ausschlusskriterien
AkEnd	Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte
ArbeitsDB	Arbeitsdatenbank
ArcGIS	Geoinformationssystem des Unternehmens ESRI
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BT-Drs	Bundestag-Drucksache
DokID	Dokument-Identifikator
ewG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
geoWK	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien
HTO	Tritiiertes Wasser
ID	Identifikator
IG	Identifiziertes Gebiet
InSpEE	Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzungen für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft)
InSpEE-DS	Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzungen für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzschieben
GOK	Geländeoberkante
MA	Mindestanforderungen
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
SKUA-GOCAD	3D-Geomodellierprogramm im Vertrieb des Unternehmens Paradigm/Emerson
StandAG	Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
TG	Teilgebiet

Glossar

Bewertung der Indikatoren	Indikatoren werden einzeln in ihre jeweilige Wertungsgruppe, die in den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG dargestellt sind, eingeordnet. Dieses wird innerhalb des Bewertungsmoduls realisiert.
Bewertung der Kriterien	Bewertung auf Kriterienebene auf Grundlage der Bewertungen mehrerer Indikatoren. Dieses wird innerhalb des Bewertungsmoduls realisiert.
Bewertungsmodul	Microsoft Access Datenbank, in der Fachexpert/-innen interaktiv durch die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien geführt werden. Nach allen Arbeitsschritten sind in dem Bewertungsmodul die Daten, Bewertungen sowie die jeweiligen verbalargumentativen Begründungen transparent zusammengefasst und abrufbar.
Geosynthese	Prägnante Zusammenfassung der wichtigsten geologischen Fakten. Diese wird innerhalb des Bewertungsmoduls realisiert.
Günstige geologische Gesamtsituation	Ergibt sich nach der sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien (§ 24 Abs. 1 S. 2 StandAG).
Identifiziertes Gebiete	Nach § 13Abs. 2 StandAG jene Gebiete, welche außerhalb der Flächen liegen, die durch die Anwendung der Ausschlusskriterien ausgeschlossen wurden, und außerdem alle Mindestanforderungen erfüllen.
Indikator	Ein Indikator bzw. eine Bewertungsgröße charakterisiert nach Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG eine bewertungsrelevante Eigenschaft eines Kriteriums und wird für die Einordnung in Wertungsgruppen zu Grunde gelegt.
Prozessierte Daten	Von der BGE bearbeitete Originaldaten; Beispielsweise 2D-Projektionen der Verläufe von abgelenkten Bohrungen.
Wertungsgruppe	Gibt jeweils für die in den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG aufgeführten Indikatoren quantitative oder qualitative Bedingungen an, die erfüllt werden müssen, um bestimmte Bewertungen zu erreichen.
Zusammenfassende Bewertung der identifizierten Gebiete	Sicherheitsgerichtete Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien. Die Gewichtung von Kriterien ist möglich. Dieses wird innerhalb des Bewertungsmoduls realisiert.

1 Gegenstand und Zielsetzung

Die vorliegende Unterlage dient als Arbeitshilfe (Anleitung) für die Bewertung der Indikatoren, Bewertung der Kriterien und für die zusammenfassende Bewertung im Zuge der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) nach § 24 StandAG mit Hilfe des sogenannten Bewertungsmoduls (siehe Abbildung 1 und BGE 2020d).

Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erfolgt nach § 13 Abs. 2 StandAG auf identifizierte Gebiete (IG), welche außerhalb der Flächen liegen, die durch die Anwendung der Ausschlusskriterien (AK) ausgeschlossen wurden, und außerdem alle Mindestanforderungen (MA) erfüllen. Ziel der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist die Ermittlung von Teilgebieten (TG), welche auf Basis der Abwägung eine günstige geologische Gesamtsituation aufweisen (§ 24 Abs. 1 StandAG).

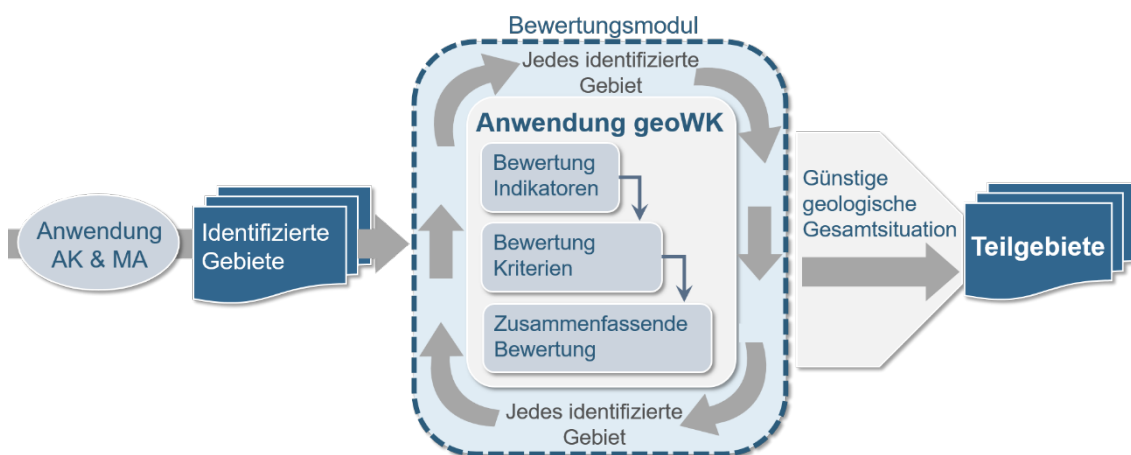


Abbildung 1: *Vorgehensweise in der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG) für die Ermittlung der Teilgebiete auf Grundlage der identifizierten Gebiete (§ 13 StandAG)*

Die Arbeitshilfe beinhaltet eine Erläuterung der bei der Bewertung grundsätzlich zu beachtenden, allgemeingültigen Anwendungsprinzipien, eine Anleitung des Bewertungsmoduls sowie eine Erläuterung der Datengrundlage. Sie enthält außerdem eine Erläuterung der konkreten Vorgehensweise zur Bewertung eines jeden identifizierten Gebiets. Des Weiteren enthält sie Erläuterungen zu allen Kriterien, ihren bewertungsrelevanten Eigenschaften und Indikatoren aus den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG. Diese Erläuterungen sind jeweils in zwei Teile, Beschreibung und Anwendung, gegliedert.

2 Anwendungsprinzipien

- (1) Für eine einheitliche Vorgehensweise bei der Bewertung erfolgt diese für eine bestimmte Anzahl von Indikatoren jeweils für sämtliche identifizierten Gebiete eines Wirtsgesteins durch denselben Fachexpert/-in.
- (2) Als Bewertungsgrundlage für die identifizierten Gebiete dienen die von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder auf Grundlage von § 13 Abs. 2 StandAG zur Verfügung gestellten geowissenschaftliche Daten (zu allen durchgeführten Abfragen), von der BGE prozessierte Daten, auf Literatur basierende Referenzdatensätze sowie Literatur.
- (3) Flächendeckende Daten mit einem hohen Detaillierungsgrad, welche für die Bewertung aller identifizierten Gebiete durch die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien benötigt werden, liegen erst in einer späteren Phase des Standortauswahlverfahrens vor bzw. können dann erhoben werden. Daher erfolgt die Bewertung einiger der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG zum jetzigen Zeitpunkt generisch, anhand von wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätzen (siehe BGE 2020b). Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Bewertung im oberen Bereich¹ der physikalisch möglichen Bandbreite des Wirtsgesteins erfolgt. Außerdem werden Aussagen über die Quantität und Qualität der Datengrundlage aufgenommen. Auf diese Weise wird die Maxime zu Grunde gelegt, dass eine in der Phase I Schritt 1 des Standortauswahlverfahrens erfolgte Bewertung sich durch einen Informationsgewinn in späteren Phasen nicht verbessert, sondern nur beibehalten wird oder schlechter werden kann.
- (4) Sämtliche getroffenen Bewertungen werden verbalargumentativ begründet. Diese Begründung muss alle verwendeten Quellen enthalten.
- (5) Für die Indikatoren der Anlagen 5, 8 und 10 sowie teilweise Anlage 9 (zu § 24 Abs. 4 bis 5) StandAG existiert nur die Wertungsgruppe „günstig“. Diese Indikatoren werden mit den Wertungsgruppen „günstig“ oder „nicht günstig“ bewertet².
- (6) Die Wertungsgruppe „ungünstig“ wird als solche bei der Bewertung ausgewiesen, semantisch im Zuge der Bewertung der Kriterien jedoch mit der Wertungsgruppe „weniger günstig“ gleichgesetzt.

¹ Mit oberem Bereich ist hier kein Maximalwert gemeint, sondern mit Blick auf die Bandbreite der physikalischen Größe ein Wert im Bereich des 75- bis 90%-Perzentils.

² „Günstig“ bedeutet, dass die in der entsprechenden Anlage aufgestellte Bedingung erfüllt wird und „nicht günstig“ bedeutet, dass diese Bedingung nicht erbracht wird. Es ist nicht mit „ungünstig“ zu verwechseln.

(7) Die Indikatoren der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien beziehen sich zu meist auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich oder den Einlagerungsbereich. Die räumliche Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs wird erst mittels Modellrechnungen im Zuge der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und als Ergebnis der Erkundungen abgeleitet werden. Bis zur Festlegung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und des Einlagerungsbereichs wird daher der Gebirgsbereich bewertet, der diese aufnehmen könnte. Dementsprechend erfolgt zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird³.

3 Bewertungsmodul

3.1 Ziel des Bewertungsmoduls

Das Bewertungsmodul ist die Umsetzung der Methodik in Form einer in Microsoft Access umgesetzten Datenbankanwendung mit graphischer Benutzeroberfläche. Ziel ist es, sämtliche Vorgänge, die im Rahmen der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien durchlaufen werden, zu vereinheitlichen und einfach abrufbar zu machen. Die wesentlichen Funktionen des Bewertungsmoduls sind im Folgenden aufgelistet.

- Erarbeitung und Speicherung der Bewertungen: Für jedes identifizierte Gebiet werden die Bewertungen für sämtliche Indikatoren, Kriterien sowie die zusammenfassende Gebietsbewertung inklusive Referenzen und verbalargumentative Begründungen erstellt.
- Geosynthese: Für jedes identifizierte Gebiet werden die wichtigsten bewertungsrelevanten geologischen Fakten zusammengestellt.
- Hilfestellungen für die Fachexpert/-innen: Für jeden Indikator werden Hinweise in Form einer Arbeitshilfe (Anleitung) gegeben. Die im Rahmen der Bewertung gemachten Angaben werden Vollständigkeits- und Plausibilitätsprüfungen unterzogen. Die (Teil-)Ergebnisse werden übersichtlich visualisiert.
- Zugang zu den Ergebnissen: Sämtliche Ergebnisse aus der Anwendung des Bewertungsmoduls werden der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und gehen in den Zwischenbericht Teilgebiete ein.

³ Im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen werden nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG Gebirgsbereiche ausgewiesen, welche einen mindestens 100 Meter mächtigen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen können. Im Hinblick auf die Aufgabe der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bildenden Gesteinstypen, eine Ausbreitung der Radionuklide möglichst effektiv zu verhindern, sucht die Vorhabenträgerin in Phase I Gesteinsabfolgen, die aufgrund ihrer Eigenschaften die Funktion einer Barriere (für die Radionuklide) voraussichtlich erfüllen können. Dementsprechend wird im Rahmen der Anwendung der Anforderungen und Kriterien nach §§ 22 bis 24 StandAG in Phase I nach Gesteinsabfolgen gesucht, die (weitgehend) homogen ausgeprägt sind, d. h. aus einem Gesteinstyp gebildet werden und die jeweils zu berücksichtigenden Gesteinstypen wiederum denen entsprechen, die gemäß § 1 Abs. 3 StandAG auch als Wirtschaftsgesteine zu betrachten sind.

- **Archivierung:** Systematische Ablage im Rahmen der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Im Laufe des Verfahrens werden die Ergebnisse aus allen Phasen separat gespeichert.

3.2 Datenbankstruktur

Die folgenden Ausführungen informieren über die technische Umsetzung. Für die Bedienung des Bewertungsmoduls sind Kenntnisse über die Datenbankstruktur nicht erforderlich und dienen an dieser Stelle als unterstützende Angaben.

Das Bewertungsmodul beruht im Wesentlichen auf drei verknüpften Tabellen:

- **Tabelle Gebiete:** Beinhaltet alle Eigenschaften und Bewertungen, die auf der Ebene der identifizierten Gebiete erfolgen. Das heißt, es werden übergeordnete Daten eingetragen, wie beispielsweise die zusammenfassende Bewertung. Der Primärschlüssel ist eine automatisch generierte ID (Ganzzahl). Jedes Gebiet hat außerdem eine eindeutig zuzuordnende Bezeichnung (Zeichenfolge), die bei der Übergabe der identifizierten Gebiete an die Bearbeiter/-innen der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien übernommen wird (Feldbezeichnung „Name Gebiet“). Diese Bezeichnung folgt einer Nomenklatur, die im Rahmen des Fachberichts erläutert wird.
- **Tabelle Kriterien:** Beinhaltet alle Eigenschaften und Bewertungen, die auf der Ebene der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG erfolgen. Der Primärschlüssel ist eine automatisch generierte ID. Zusätzlich wird ein Fremdschlüssel (FS) aus der „Tabelle Gebiete“ übergeben (welcher in dieser der Primärschlüssel ist). Mit diesem FS werden jedem Gebiet 11 Einträge in der „Tab. Kriterien“ zugeordnet. Das bedeutet, dass die „Tab. Kriterien“ insgesamt elfmal so viel Einträge („records“) hat wie die „Tab. Gebiete“.
- **Tabelle Indikatoren:** Beinhaltet alle Eigenschaften und Bewertungen, die auf der Ebene der Indikatoren erfolgen. Der Primärschlüssel ist eine automatisch generierte ID. Zusätzlich wird ein Fremdschlüssel (FS) aus der „Tab. Kriterien“ übergeben (welcher in dieser der Primärschlüssel ist). Das bedeutet, dass durch die Kette „FS Kriterien -> FS Gebiete“ eine eindeutige Zuordnung zu dem jeweiligen identifizierten Gebieten entsteht. Insgesamt hat die „Tab. Indikatoren“ 40mal so viel Einträge („records“) wie die „Tab. Gebiete“.

Insgesamt sind im Bewertungsmodul 14 Tabellen verknüpft. In Abbildung 2 wird eine schematische Darstellung zu den Tabellenbeziehungen im Bewertungsmodul gezeigt. Neben den drei wesentlichen Tabellen (Gebiete, Kriterien und Indikatoren) gibt es Hilfstabellen, die vorwiegend Informationen aus dem StandAG bereitstellen, Literatur- und Datentabellen, in welche Referenzen eingetragen werden, die für die Bewertung genutzt werden, sowie Zuordnungstabellen, die aus einer m:n Verknüpfung eine 1:n und n:1 Verknüpfung ermöglichen.

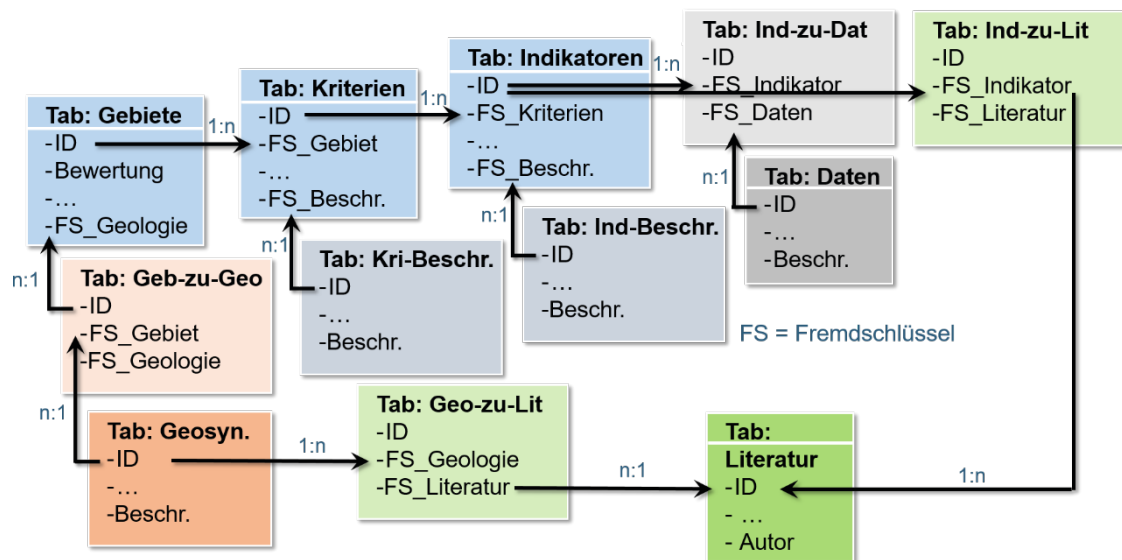


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Tabellenbeziehungen im Bewertungsmodul.
Die drei wesentlichen Tabellen (Gebiete, Kriterien und Indikatoren) werden mit Hilfs- und Zuordnungstabellen verknüpft.

3.3 Anwendung des Bewertungsmoduls

3.3.1 Generelle Bedienung

Die Eingabe von Bewertungen, Begründungen etc. erfolgt nicht direkt in den Tabellen. Diese, sowie Abfrage-Objekte, sind für den Benutzer nicht sichtbar im Hintergrund. Die Bedienung erfolgt über Formulare. Technisch gesehen ist dieses vergleichbar über eine Bestellung in einem Online-Shop: Die Eingabe der Daten (Name, Wohnort, PLZ etc.) erfolgt innerhalb des Webbrowsers über ein Eingabeformular. Die auf diese Weise getätigten Eingaben werden automatisiert in den hinterlegten Tabellen gespeichert.

3.3.2 Formular Gebiete

Das „Formular Gebiete“ ist auf der Ebene der Gebiete angelegt. Es ist das erste Formular, das sich nach Anlegen eines neuen Gebiets öffnet. Abbildung 3 ist eine Darstellung des blanko Formulars.

Formular Gebiete Formular speichern und Access schließen

ID Gebiet:
 Name Gebiet:
 Wirtsgestein:
 Geosynthese:

Neue Geosynthese anlegen **Geosynthese editieren** **Neues Gebiet anlegen**
Zum vorherigen Gebiet navigieren **Zum nächsten Gebiet navigieren** **Zu bestimmten Gebiet navigieren**

Geosynthese:

Zusammenfassende Bewertung:

Kriterien vollständig: Es wurden 0 von 11 Kriterien bewertet.
 Indikatoren vollständig: Es wurden 0 von 36 Indikatoren bewertet.
 Begründung für die zusammenfassende Bewertung:

Diffusionsgeschwindigkeit oder Porosität/Verfestigungsgrad:

Letzte Änderung:

Gebiet duplizieren

Indikator Bewertungen:

Kriterium 1	
Kriterium 2	
Kriterium 3	
Kriterium 4	
Kriterium 5	
Kriterium 6	
Kriterium 7	
Kriterium 8	
Kriterium 9	
Kriterium 10	
Kriterium 11	

Gebiet wurde vollständig bearbeitet: AK und MA angewendet:

Abbildung 3: Ansicht des blanko „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul

Die folgende Tabelle 1 listet sämtliche Felder im „Formular Gebiete“ und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 1: Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul

Feldbezeichnung	Funktion
ID Gebiet	Automatisch generierte ID. Keine Interaktion des Benutzers möglich.
Name Gebiet	Bezeichnung des Gebiets. Dieses Feld ist vom Benutzer auszufüllen. Die Bezeichnung bildet die Zuordnungsbrücke zu der Bearbeitung der identifizierten Gebiete durch die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen. Der Name wird vor der Übergabe der identifizierten Gebiete an die Bearbeiter/-innen der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien festgelegt und ist zwingend einzuhalten. Diese Bezeichnung folgt einer Nomenklatur, die im Rahmen des Fachberichts erläutert wird.
Wirtsgestein	Drop-down-Menü zur Auswahl des Wirtsgesteins. Dieses Feld ist vom Benutzer auszufüllen. Die Auswahl wirkt sich auf das jeweilige Layout der Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ und „Indikatoren“ aus und ist daher gleich zu Beginn zu tätigen.
Geosynthese	Falls das aktuelle identifizierte Gebiet in einer geographischen Region angesiedelt ist, zu der es bereits eine Geosynthese gibt, kann diese per Drop-down-Menü einfach ausgewählt werden. Falls es keine bestehende Geosynthese gibt, braucht dieses Feld vom Benutzer nicht editiert werden.

Feldbezeichnung	Funktion
Zusammenfassende Bewertung	Drop-down-Menü für die Gesamtbewertung des aktuellen identifizierten Gebiets. Diese Auswahl ist erst verfügbar (sichtbar), wenn alle Kriterien und Indikatoren bewertet wurden.
Letzte Änderung	Wird automatisch gesetzt.
Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen angewendet	Drop-down-Menü zur Bestätigung, dass die Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien für das aktuelle Gebiet bereits angewendet wurden.
Begründung für die zusammenfassende Bewertung	Geowissenschaftlicher Diskurs bezüglich der Gebiets-Bewertung. Die Bearbeitung dieses Felds ist Bedingung, um eine Bewertung abzugeben.
Vollständig bearbeitet	Ja/Nein Auswahlfeld. Bestätigung, dass das aktuelle Gebiet in jeder Hinsicht vollständig bearbeitet wurde.
Gebiet duplizieren	Klick-Feld (bei Klick mit der linken Maustaste wird eine Aktion ausgeführt). Das aktuelle Gebiet wird mit sämtlichen Einträgen in allen relevanten Tabellen (Gebiete, Kriterien, Indikatoren, Literatur- und Datenreferenzen, Geosynthese) kopiert und als geklontes Gebiet neu eingefügt. Mit dieser Aktion werden mehr als 52 Recordsets identifiziert und in der richtigen Struktur kopiert. Es wird automatisch eine neue ID im Primärschlüssel erzeugt. Das Feld „Name Gebiet“ muss durch den Anwender neu gesetzt werden. Dieser Button kann genutzt werden, wenn ein identifiziertes Gebiet beispielsweise in zwei oder mehr identifizierte Gebiete unterteilt wird.
Neue Geosynthese anlegen	Falls das aktuelle identifizierte Gebiet in einer geographischen Region angesiedelt ist, zu der es noch keine Geosynthese gibt, wird hier durch Klick (linke Maustaste) eine Aktion ausgeführt, die zu dem „Formular Geosynthese“ führt (siehe Abbildung 11). Das Feld „Geosynthese“ wird im Anschluss automatisch gefüllt. Die Übertragung des Wirtsgesteins in die Geosynthese erfolgt ebenfalls automatisiert. Die Auswahl des Wirtsgesteins ist notwendig, bevor eine neue Geosynthese angelegt werden kann.
Geosynthese editieren	Per Klick wird das „Formular Geosynthese“ (siehe Abbildung 11) geöffnet, um die bereits zugeordnete Geosynthese zu editieren.
Neues Gebiet anlegen	Per Klick wird ein neues blanko Gebiet angelegt mit blanko Einträgen in allen relevanten Tabellen (Gebiete, Kriterien, Indikatoren).

Feldbezeichnung	Funktion
Zum vorherigen Gebiet navigieren	Aktion per Klick. Schließt das aktuelle Gebiet (Änderungen werden automatisch gespeichert) und öffnet das Gebiet mit der „ID Gebiet“ - 1.
Zum nächsten Gebiet navigieren	Aktion per Klick. Schließt das aktuelle Gebiet (Änderungen werden automatisch gespeichert) und öffnet das Gebiet mit der „ID Gebiet“ + 1.
Navigieren zu	Aktion per Klick. Schließt das aktuelle Gebiet (Änderungen werden automatisch gespeichert) und öffnet ein bestimmtes Gebiet. Dieses kann durch ein Drop-down-Menü ausgewählt werden, in welchem die Werte aus dem Feld „Name Gebiet“ gelistet werden.
Kriterien vollständig	Automatisierte Anzeige, wie viele Kriterien bereits vollständig bewertet wurden. Erst wenn 11 von 11 Kriterien bewertet wurden, ist eine Auswahl der Gebietsbewertung zulässig.
Indikatoren vollständig	Automatisierte Anzeige, wie viele Indikatoren bereits vollständig bewertet wurden. Erst wenn alle Indikatoren (Anzahl abhängig vom Wirtsgestein) bewertet wurden, ist eine Auswahl der Gebietsbewertung zulässig.
Diffusionsgeschwindigkeit oder Porosität/Verfestigungsgrad	Drop-down-Menü, ob die Bewertung zu Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG auf Grundlage der Diffusionsgeschwindigkeit erfolgen soll oder auf Grundlage von Porosität und Verfestigungsgrad. Diese Auswahl ist nur verfügbar (sichtbar), wenn „Tongestein“ als Wirtsgestein ausgewählt wurde. Für die übrigen Wirtsgesteine ist automatisiert die Auswahl auf „Diffusionsgeschwindigkeit“ voreingestellt
Kriterium 1 bis 11	Per Klick öffnet sich das „Formular Kriterien“ für die Anlage 1 bis 11 (zu § 24) StandAG (siehe Abbildung 5). Das gespeicherte „Formular Gebiet“ bleibt im Hintergrund geöffnet. Falls es bereits eine Bewertung für ein bestimmtes Kriterium gibt, färbt sich dieser Button in Abhängigkeit der Bewertungsgüte (plus zusätzlicher Bewertung als Text). Die Klick-Funktion bleibt erhalten.
Indikator Bewertungen	Automatisierte Visualisierung der bereits getätigten Indikatorbewertungen.
Formular speichern und Access schließen	Microsoft Access wird beendet, alle Änderungen werden gespeichert. Wichtig: Microsoft Access speichert ohnehin sämtliche Änderungen automatisch und parallel zur Bedienung.

Die für das „Formular Gebiete“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Pflichtfelder für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul

Pflichtfelder
Name Gebiet
Wirtsgestein
Geosynthese oder Neue Geosynthese anlegen
Zusammenfassende Bewertung
Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen angewendet
Begründung für die zusammenfassende Bewertung
Vollständig bearbeitet
Diffusionsgeschwindigkeit oder Porosität/Verfestigungsgrad (Nur bei Tongestein)

Tabelle 3 stellt die notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Gebiete“ dar.

Tabelle 3: Notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Gebiete“ im Bewertungsmodul

Reihenfolge	Feld
1	„Name Gebiet“
2	„Wirtsgestein“ Falls „Tongestein“, nun als nächstes Feld: „Diffusionsgeschwindigkeit oder Porosität/Verfestigungsgrad“
3 bis n-2	Beliebiges Feld
n-2	„Begründung für die zusammenfassende Bewertung“
n-1	„Zusammenfassende Bewertung“
n	„Vollständig bearbeitet“

Die Abbildung 4 stellt beispielhaft das „Formular Gebiete“ mit vollständig ausgefüllten (fiktiven) Einträgen dar.

The screenshot shows the 'Formular Gebiete' interface. On the left, there are input fields for 'ID Gebiet' (2), 'Name Gebiet' (IG_2), 'Wirtsgestein' (Tongestein), and 'Geosynthese'. Below these is a 'Zusammenfassende Bewertung' section showing 'B: bedingt günstig'. A summary indicates that 11 of 11 criteria and 37 of 37 indicators are evaluated. A large text area contains a placeholder 'Lorem ipsum' for the justification. On the right, a 'Indikator Bewertungen:' table shows 11 criteria with progress bars. At the bottom, there are checkboxes for 'Gebiet wurde vollständig bearbeitet' and 'AK und MA angewendet'.

Abbildung 4: Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Gebiete“ im Bewertungsmodul

3.3.3 Formular Kriterien

Das „Formular Kriterien“ ist auf der Ebene der in den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG aufgeführten Kriterien angelegt. Es öffnet sich nach Klick auf den entsprechenden Button (z. B. „Kriterium 1“) im „Formular Gebiete“. Das „Formular Kriterien“ ist individuell für jede der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG, der Grundaufbau ist jedoch identisch. Abbildung 5 ist eine Darstellung des blanko Formulars für das „Kriterium zur Bewertung des

Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Die folgende Tabelle 4 stellt sämtliche Felder im „Formular Kriterien“ dar und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 4: *Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul*

Feldbezeichnung	Funktion
Gebiet	Automatischer Eintrag der übergeordneten Gebiets ID.
Kriterium	Automatisierter Eintrag der Bezeichnung der Kriterien (für jede der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG unterschiedlich).
Bewertung	Drop-down-Menü für die Bewertung des aktuellen Kriteriums. Diese Auswahl ist erst verfügbar, wenn alle Indikatoren bewertet wurden und eine Begründung verfasst wurde.
Datum	Wird automatisiert gesetzt.
Indikatoren bearbeitet	Automatisierte Anzeige, wie viele Indikatoren der aktuellen Anlage bereits vollständig bewertet wurden. Erst wenn alle Indikatoren der aktuellen Anlage bewertet wurden, ist eine Auswahl der Gebietsbewertung zulässig.
Erklärender Text	Individuell für jede der Anlagen zu § 24 StandAG wird die Beschreibung aus dem StandAG automatisiert angezeigt.
Begründung Kriterium	Geowissenschaftlicher Diskurs bezüglich der jeweiligen Kriteriums-Bewertung. Die Bearbeitung dieses Felds ist Bedingung, um eine Bewertung abzugeben.
Indikator 1 bis n (max. 6)	Per Klick öffnet sich das „Formular Indikatoren“ für den gewählten Indikator (siehe Abbildung 7). Das „Formular Gebiet“ und das „Formular Kriterien“ bleibt im Hintergrund (gespeichert) offen. Falls es bereits eine Bewertung für einen bestimmten Indikator gibt, färbt sich dieser Button in Abhängigkeit der Bewertungsgüte (plus Bewertung als Text). Die Klick-Funktion bleibt erhalten.
Formular speichern und schließen	Per Klick schließt sich das „Formular Kriterien“, alle Änderungen werden gespeichert. Das zugehörige „Formular Gebiete“ wird eingeblendet. Wichtig: Microsoft Access speichert ohnehin sämtliche Änderungen automatisch und parallel zur Bedienung.

Formular Kriterien
Formular speichern
und schließen

Gebiet: 1

Kriterium: 1: Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Bewertung:

Datum:

Indikatoren bearbeitet: Es wurden 0 von 3 Indikatoren bewertet.

Der Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen und Diffusion im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll so gering wie möglich sein. Bewertungsrelevante Eigenschaften dieses Kriteriums sind die im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorherrschende Grundwasserströmung, das Grundwasserangebot und die Diffusionsgeschwindigkeit entsprechen stehenden Tabelle. Solange die entsprechenden Indikatoren nicht standortspezifisch erhoben sind, kann für die Abwägung das jeweilige Wirtsgestein als Indikator verwendet werden.

Indikator 1

Indikator 2

Indikator 3

Indikator 4

Indikator 5

Begründung Kriterium:

Bearbeiter:

Abbildung 5: Ansicht des blanko „Formular Kriterien“ (für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul.
Die Indikatoren „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ sind in der hier gezeigten Konstellation nicht verfügbar, da die Bewertung „Diffusionsgeschwindigkeit“ gewählt wurde.

Die für das „Formular Kriterien“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Pflichtfelder für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul

Pflichtfelder
Bewertung
Begründung Kriterium

Tabelle 6 stellt die notwendig einzuhaltende Bearbeitungsreihenfolge der Felder für das „Formular Kriterien“ dar.

Tabelle 6: Notwendig einzuhaltende Bearbeitungsreihenfolge der Felder für das „Formular Kriterien“ im Bewertungsmodul

Reihenfolge	Feld
1	„Indikator x“. Die Reihenfolge innerhalb der Indikatoren ist beliebig (Ausnahme Indikatoren zu Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG, siehe Kapitel 7.1).
2	„Begründung Kriterium“
3	„Bewertung“

Die Abbildung 6 stellt beispielhaft das „Formular Kriterien“ mit vollständig ausgefüllten (fiktiven) Einträgen für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG dar.

Formular Kriterien
Formular speichern und schließen

Gebiet: 1

Kriterium: 1: Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Bewertung: A: günstig

Datum:

Indikatoren bearbeitet: Es wurden 3 von 3 Indikatoren bewertet. ✓

Der Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen und Diffusion im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll so gering wie möglich sein. Bewertungsrelevante Eigenschaften dieses Kriteriums sind die im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorherrschende Grundwasserströmung, das Grundwasserangebot und die Diffusionsgeschwindigkeit entsprechen stehenden Tabelle. Solange die entsprechenden Indikatoren nicht standortspezifisch erhoben sind, kann für die Abwägung das jeweilige Wirtsgestein als Indikator verwendet werden.

günstig

Indikator 1

Indikator 2

Indikator 3

günstig

Indikator 4

bedingt günstig

Indikator 5

Begründung Kriterium:

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duiis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscin elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duiis dolore te feugait nulla facilisi. |

Abbildung 6: Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Kriterien“ (für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul. Die Indikatoren „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ sind in der hier gezeigten Konstellation nicht verfügbar, da die Bewertung „Diffusionsgeschwindigkeit“ gewählt wurde.

3.3.4 Formular Indikatoren

Das „Formular Indikatoren“ ist auf der Ebene der Indikatoren angelegt. Es öffnet sich nach Klick auf den entsprechenden Button (z. B. „Indikator 1“) im „Formular Kriterien“. Das „Formular Indikatoren“ ist individuell für jeden der 40 Indikatoren, welche in den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG benannt sind, der Grundaufbau ist jedoch identisch. Abbildung 7 ist eine Darstellung des blanko Formulars für den Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ gemäß Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG.

Die folgende Tabelle 7 stellt sämtliche Felder im „Formular Indikatoren“ dar und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 7: *Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul*

Feldbezeichnung	Funktion
Gebiet	Automatischer Eintrag der übergeordneten Gebiets ID.
Kriterium	Automatisierter Eintrag der übergeordneten Kriteriumsbezeichnung (für jede der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG unterschiedlich).
Indikator	Automatisierter Eintrag der Indikatorbezeichnung (für jeden der 40 Indikatoren unterschiedlich).
Bewertung	Drop-down-Menü für die Bewertung des aktuellen Indikators. Diese Auswahl ist erst verfügbar, wenn eine Begründung verfasst wurde.
Günstig	Individuell für jeden Indikator wird die Beschreibung für die Wertungsgruppe „günstig“ aus dem StandAG automatisiert angezeigt.
Bedingt günstig	Individuell für jeden Indikator wird die Beschreibung für die Wertungsgruppe „bedingt günstig“ aus dem StandAG automatisiert angezeigt.
Weniger günstig (oder ungünstig)	Individuell für jeden Indikator wird die Beschreibung für die Wertungsgruppe „weniger günstig“ (z. T. „ungünstig“) aus dem StandAG automatisiert angezeigt.
MinWert	Falls die zur Bewertung herangezogenen Daten numerisch ausgeprägt sind, kann hier der kleinste Wert eingetragen werden. Dieses Feld ist optional.
MaxWert	Falls die zur Bewertung herangezogenen Daten numerisch ausgeprägt sind, kann hier der größte Wert eingetragen werden. Dieses Feld ist optional.
MittelWert	Falls die zur Bewertung herangezogenen Daten numerisch ausgeprägt sind, kann hier der Mittelwert eingetragen werden. Dieses Feld ist optional (Ausnahme: Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG, hier ist die Eingabe in jedem Fall erforderlich).
Datenlage	Drop-down-Menü bezüglich der Herkunft der zur Bewertung herangezogenen Informationen. Eine mehrfache Auswahl ist möglich. Dieses Feld ist optional.

Feldbezeichnung	Funktion
Datei-Upload	In diesem Anlage-Feld kann der Benutzer für die Bewertung relevante Informationen (Dateien im Bild- oder PDF-Format) hochladen, sofern dies nicht durch Literaturreferenzierung oder durch Referenz auf die eingegangenen Daten der Bundes- und Landesbehörden (aus der Arbeitsdatenbank (ArbeitsDB), siehe Kapitel 4) möglich ist. Die auf diese Art hinzugefügten Dateien werden in der Access Datenbank inkludiert.
StandAG, Arbeitshilfe und Referenzdatensätze	Per Klick auf das PDF-Symbol öffnet sich ein bereits gefülltes Anlage Feld. Abbildung 8 zeigt das Auswahlfenster, welches sich per Klick auf das PDF-Symbol öffnet. Durch Auswahl eines der Anlagen kann diese dann mit Klick auf „Ansicht“ geöffnet werden (es öffnet sich automatisch ein PDF Viewer, Microsoft Access bleibt im Hintergrund geöffnet). Hier kann der Gesetzestext des StandAG zur jeweiligen Anlage geöffnet werden. Gleichmaßen können die entsprechenden Referenzdatensätze geöffnet oder die Arbeitshilfe eingesehen werden.
Datum	Wird automatisiert gesetzt.
Begründung	Geowissenschaftlicher Diskurs bezüglich der jeweiligen Indikator-Bewertung. Die Bearbeitung dieses Felds ist Bedingung, um eine Bewertung abzugeben.
Neue Datenreferenz anlegen	Dieser Button wird benötigt, wenn für die Bewertung relevante Daten aus den Datenlieferungen der Landesbehörden referenziert werden müssen. Per Klick öffnet sich das „Formular Daten“ mit der Ansicht eines neuen Eintrags für ein Recordset. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund offen. Es wird zwingend eine DateiGruppen-ID benötigt, die vor dem Laden des Formulars „Daten“ als Eingabeaufforderung abgefragt wird. Die DateiGruppen ID sowie alle weiteren Angaben müssen auf Grundlage der ArbeitsDB in dem „Formular Daten“ eingepflegt werden.
Bestehende Datenreferenz verknüpfen	Falls eine Datenreferenz aus der ArbeitsDB bereits für einen anderen Indikator oder für ein anderes identifiziertes Gebiet referenziert wurde, kann diese Referenz hier einfach per Drop-down-Menü ausgewählt und mit dem aktuellen Indikator verknüpft werden (bestehende Verknüpfungen mit dieser Datenreferenz zu anderen Indikatoren oder identifizierten Gebieten bleiben bestehen). Diese Funktion führt zum gleichen Ziel wie die Funktion „Neue Datenreferenz anlegen“, – mit dem Unterschied, dass eine bereits Vorhandene angewählt wird, anstatt eine Neue (noch nicht Vorhandene) anzulegen.
Verwendete Datenreferenz	Automatisch generierte Liste mit den bereits verknüpften Datenreferenzen für den aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets.

Feldbezeichnung	Funktion
Datenreferenz entfernen	Wenn versehentlich eine Datenreferenz verknüpft wurde oder eine Datenreferenz im Zuge der Bewertung nicht mehr als relevant gilt, kann diese durch ein Drop-down-Menü wieder entfernt werden. Wichtig: Es wird lediglich die Verknüpfung zu dem aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets gelöscht, nicht aber der Eintrag in der Datentabelle. Auf diese Weise könnte die entfernte Referenz bequem erneut verknüpft werden („bestehende Datenreferenz verknüpfen“) oder bei einem anderen Indikator oder identifizierten Gebieten per Drop-down ausgewählt werden.
Datenreferenz editieren	Falls an einer bestehenden Datenreferenz Änderungen vorgenommen werden müssen, kann dies über Auswahl in diesem Drop-down-Menü ausgewählt werden. Es öffnet sich das „Formular Daten“ mit der Ansicht der gewählten Datenreferenz. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund geöffnet.
Neue Literaturreferenz anlegen	Dieser Button wird benötigt, wenn für die Bewertung relevante Literaturquellen referenziert werden müssen. Per Klick öffnet sich das „Formular Literatur“ mit der Ansicht eines neuen Eintrags für ein Recordset. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund offen. Es muss mindestens der Hauptautor, der Titel und das Jahr eingegeben werden. Die übrigen Felder sind optional.
Bestehende Literaturreferenz verknüpfen	Falls eine Literaturquelle bereits für einen anderen Indikator oder für ein anderes identifiziertes Gebiet referenziert wurde, kann diese Referenz hier einfach per Drop-down-Menü ausgewählt und mit dem aktuellen Indikator verknüpft werden (bestehende Verknüpfungen mit dieser Literaturreferenz zu anderen Indikatoren oder identifizierten Gebieten bleiben bestehen). Diese Funktion führt zum gleichen Ziel wie die Funktion „Neue Literaturreferenz anlegen“, – mit dem Unterschied, dass eine bereits Vorhandene ausgewählt wird anstatt eine Neue (noch nicht vorhandene) anzulegen.
Verwendete Literaturreferenz	Automatisch generierte Liste mit den bereits verknüpften Literaturreferenzen für den aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets.
Literaturreferenz entfernen	Wenn versehentlich eine Literaturreferenz verknüpft wurde oder eine Literaturreferenz im Zuge der Bewertung nicht mehr als relevant gilt, kann diese durch ein Drop-down-Menü wieder entfernt werden. Wichtig: Es wird lediglich die Verknüpfung zu dem aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets gelöscht, nicht aber der Eintrag in der Literaturtabelle. Auf diese Weise könnte die entfernte Referenz bequem erneut verknüpft werden („bestehende Literaturreferenz verknüpfen“) oder bei einem anderen Indikator oder identifizierten Gebieten per Drop-down ausgewählt werden.

Feldbezeichnung	Funktion
Literaturreferenz editieren	Falls an einer bestehenden Literaturreferenz Änderungen vorgenommen werden müssen, kann dies über Auswahl in diesem Drop-down-Menü ausgewählt werden. Es öffnet sich das „Formular Literatur“ mit der Ansicht der gewählten Literaturreferenz. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund offen.
Formular speichern und schließen	Per Klick schließt sich das „Formular Kriterien“, alle Änderungen werden gespeichert. Das zugehörige „Formular Gebiete“ wird eingeblendet. Wichtig: Access speichert ohnehin sämtliche Änderungen automatisch und parallel zur Bedienung.

Formular Indikatoren
Formular speichern und schließen

Name Gebiet: IG_1

Kriterium: 1: Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Indikator: Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps

Bewertung:

Günstig: $Kf < 1E-12 \text{ m/s}$

Bedingt günstig: $1E-12 < Kf < 1E-10 \text{ m/s}$

Weniger günstig: $Kf > 1E-10 \text{ m/s}$

MinWert: [m/s]

MaxWert: [m/s]

MittelWert: [m/s]

Datenlage: StandAG, Arbeitshilfe und Referenzdatensätze:

Datei-Upload:

Begründung:

Datum:

Neue Datenreferenz anlegen

Bestehende Datenreferenz verknüpfen:

Verwendete Datenreferenzen:

Datenreferenz entfernen:

Datenreferenz editieren:

Neue Literaturreferenz anlegen

Bestehende Literaturreferenz verknüpfen:

Verwendete Literaturreferenzen:

Literaturreferenz entfernen:

Literaturreferenz editieren:

Abbildung 7: Ansicht des blanko „Formulars Indikatoren“ (hier beispielhaft für Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ von Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul



Abbildung 8: Ansicht des Anlagefelds im „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul

Die für das „Formular Indikatoren“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: *Pflichtfelder für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul*

Pflichtfelder
Bewertung
Mittelwert“ (nur für Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)
Datenlage
Begründung

Tabelle 9 listet die notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Indikatoren“. Die nicht gelisteten Felder sind optional.

Tabelle 9: *Notwendig einzuhaltende Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Indikatoren“ im Bewertungsmodul*

Reihenfolge	Feld
1-(n-2)	Beliebiges Feld (optional)
n-1	„Begründung“
n	„Bewertung“

Die Abbildung 9 stellt beispielhaft das „Formular Indikatoren“ mit vollständig ausgefüllten (fiktiven) Einträgen für den in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG aufgeführten Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ dar.

Formular Indikatoren
Formular speichern und schließen

Gebiet: 1

Kriterium: 1: Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Indikator: **Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps**

Bewertung: **A: günstig**

Günstig: $Kf < 1E-12 \text{ m/s}$

Bedingt günstig: $1E-12 < Kf < 1E-10 \text{ m/s}$

Weniger günstig: $Kf > 1E-10 \text{ m/s}$

MinWert: [m/s]

MaxWert: [m/s]

MittelWert: [m/s]

Datenlage:

Datei-Upload:

Datum:

Begründung:

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet citta kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet citta kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet citta kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Neue Datenreferenz anlegen Klick

Bestehende Datenreferenz verknüpfen:

Verwendete Datenreferenzen:

2572	151
35846	1111

Datenreferenz entfernen:

Datenreferenz editieren:

Neue Literaturreferenz hinzufügen

Bestehende Literaturreferenz verknüpfen:

Verwendete Literaturreferenzen:

Freudenberge	1996
Meyer	2004

Literaturreferenz entfernen:

Literaturreferenz editieren:

Abbildung 9: Ansicht des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Indikatoren“ im Bewertungsmodul. Hier beispielhaft für den Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“ der Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Besonderheiten im „Formular Indikatoren“:

- Die Reihenfolge der Indikatoren der Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG wurde verändert, da für die Berechnung der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit die numerische Eingabe der Gebirgsdurchlässigkeit zunächst erforderlich ist.
- Die Berechnung der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit erfolgt per Klick auf den Button „Berechne Abstandsgeschwindigkeit“. Dieser Button ist ausschließlich für den Indikator „Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers“ verfügbar (sichtbar). Notwendig für die Berechnung ist die vorherige Bearbeitung des Indikators „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps“. Die Angaben der Porosität und des hydraulischen Gradienten erfolgt per Eingabeaufforderung. Für den Fall des Wirtsgesteins Tongestein mit der Bewertung der Porosität und des Verfestigungsgrads anstatt der Diffusionsgeschwindigkeit, wird die Porosität von dieser Stelle ausgelesen. Das Berechnungsergebnis sowie alle dazu verwendeten Werte werden gespeichert. Das Ergebnis wird im Feld „MittelWert“ angezeigt und die Bewertung erfolgt automatisiert. Abbildung 10 stellt das Formular „Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers“ ausschnittsweise dar.

Formular Indikatoren

Gebiet: 1
 Kriterium: 1: Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen
im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
 Indikator: **Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers**

Bewertung: **A: günstig** ▼

Günstig: Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers $\leq 0,1$ mm/a

Bedingt günstig: Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers $> 0,1$ und ≤ 1 mm/a

Weniger günstig: Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers > 1 mm/a

MinWert:	<input type="text"/>	[mm/a]	Kf [m/s] = 5E-13	Berechne Abstands- geschwindigkeit Klick
MaxWert:	<input type="text"/>	[mm/a]	Kf [mm/a] = 0,0157788	
MittelWert:	0,00032	[mm/a]	dH [m/m] = 0,001	
Datenlage:	Literaturwerte; Annahmen ▼		Porosität [%] = 5	

Abbildung 10: Ausschnitt des beispielhaft mit fiktiven Einträgen versehenen „Formulars Indikatoren“ für den Indikator „Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers“ (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) im Bewertungsmodul

3.3.5 Formular Geosynthese

Das „Formular Geosynthese“ ist auf der Ebene der Gebiete verknüpfbar. Es öffnet sich nach Klick auf den entsprechenden Button („Neue Geosynthese anlegen“ oder „Geosynthese editieren“) im „Formular Gebiete“. Abbildung 11 zeigt eine Darstellung des blanko Formulars „Geosynthese“.

Die folgende Tabelle 10 listet sämtliche Felder im „Formular Geosynthese“ und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 10: Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul

Feldbezeichnung	Funktion
Name	Bezeichnung für die aktuelle Geosynthese.
Wirtsgestein	Wirtsgestein, wird automatisiert aus dem zugehörigen identifizierten Gebiet ausgelesen.
Geographische Verbreitung	Informationen, wo die beschriebene Geologie räumlich anzutreffen ist.
Stratigraphie	Informationen zum stratigraphischen Aufbau.

Feldbezeichnung	Funktion
DateiUpload	In diesem Anlage-Feld kann der Benutzer relevante Informationen (Dateien im Bild- oder PDF-Format wie z. B. Profilschnitte) hochladen, sofern dies nicht durch Literaturreferenzierung möglich ist. Die auf diese Art hinzugefügten Dateien werden in der Microsoft Access Datenbank inkludiert.
Geologische Charakterisierung	Prägnante Zusammenfassung der wichtigsten geologischen Fakten.
Neue Literaturreferenz anlegen	Dieser Button wird benötigt, wenn für die Bewertung relevante Literaturquellen referenziert werden müssen. Per Klick öffnet sich das „Formular Literatur“ mit der Ansicht eines neuen Eintrags für ein Recordset. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund offen. Es muss mindestens der Hauptautor, der Titel und das Jahr eingegeben werden. Die übrigen Felder sind optional.
Bestehende Literaturreferenz verknüpfen	Falls eine Literaturquelle bereits für einen anderen Indikator oder für ein anderes identifiziertes Gebiet referenziert wurde, kann diese Referenz hier einfach per Drop-down-Menü ausgewählt und mit dem aktuellen Indikator verknüpft werden (bestehende Verknüpfungen mit dieser Literaturreferenz zu anderen Indikatoren oder identifizierten Gebieten bleiben bestehen). Diese Funktion führt zum gleichen Ziel wie die Funktion „Neue Literaturreferenz anlegen“, – mit dem Unterschied, dass eine bereits Vorhandene angewählt wird, anstatt eine Neue (noch nicht vorhandene) anzulegen.
Verwendete Literaturreferenz	Automatisch generierte Liste mit den bereits verknüpfen Literaturreferenzen für den aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets.
Literaturreferenz entfernen	Wenn versehentlich eine Literaturreferenz verknüpft wurde oder eine Literaturreferenz im Zuge der Bewertung nicht mehr als relevant gilt, kann diese durch ein Drop-down-Menü wieder entfernt werden. Wichtig: Es wird lediglich die Verknüpfung zu dem aktuellen Indikator des aktuellen Gebiets gelöscht, nicht aber der Eintrag in der Literaturtabelle. Auf diese Weise könnte die entfernte Referenz bequem erneut verknüpft werden („bestehende Literaturreferenz verknüpfen“) oder bei einem anderen Indikator oder identifizierten Gebieten per Drop-down angewählt werden.
Literaturreferenz editieren	Falls an einer bestehenden Literaturreferenz Änderungen vorgenommen werden müssen, kann dies über Auswahl in diesem Drop-down-Menü ausgewählt werden. Es öffnet sich das „Formular Literatur“ mit der Ansicht der gewählten Literaturreferenz. Die Formulare „Gebiete“, „Kriterien“ sowie „Indikatoren“ bleiben im Hintergrund offen.

Feldbezeichnung	Funktion
Formular speichern und schließen	Per Klick schließt sich das „Formular Kriterien“, alle Änderungen werden gespeichert. Das zugehörige „Formular Gebiete“ wird eingeblendet. Wichtig: Access speichert ohnehin sämtliche Änderungen automatisch und parallel zur Bedienung.

Die Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Geosynthese“ ist beliebig. Die für das „Formular Geosynthese“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Pflichtfelder für das „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul

Pflichtfelder
Name
Geographische Verbreitung
Stratigraphie
Geologische Charakterisierung

Abbildung 11: Ansicht des blanko „Formular Geosynthese“ im Bewertungsmodul

Die Abbildung 12 stellt das „Formular Geosynthese“ mit vollständig ausgefüllten Einträgen beispielhaft für die Opalinuston-Formation dar.

Formular Geosynthese
Formular speichern und schließen

Um für die identifizierten Gebiete einen Überblick der vorherrschenden geologischen Situation zu geben, wird für jedes identifizierte Gebiet eine Geosynthese erstellt. Hierbei handelt es sich um eine prägnante Zusammenfassung der wichtigsten geologischen Fakten.

Name:

Wirtsgestein:

Geographische Verbreitung:

Stratigraphie:

DateiUpload:

Geologische Charakterisierung:

In allen geologisch, tektonischen Größeneinheiten Baden-Württembergs ist die Opalinuston-Formation durch Tonsteine und Tonmergelsteine gekennzeichnet. Im höheren Abschnitt regional mit Sandsteineinschaltungen. Unter-Aalenium in Tonfazies, beginnt gebietsweise im Ober-Toarcium. Mächtigkeitsangaben bewegen sich im Bereich 80-150 m (LGRB, 2016). In Bayern handelt es sich bei der Opalinuston-Fm um pyritreiche, organismenarme Tone. Die Mächtigkeit der Opalinuston-Formation nördlich der Donau und im Molassenuntergrund (Bayern) wird bis 100 m angegeben (Freudenberger & Schwerd, 1996).

Neue Literaturreferenz hinzufügen Klick

Bestehende Literaturreferenz verknüpfen:

Verwendete Literatur:

Freudenberger und Schwerd	1996
LGRB	2016

Literaturreferenz entfernen:

Literaturreferenz editieren:

Abbildung 12: Ansicht des ausgefüllten „Formulars Geosynthese“ im Bewertungsmodul

3.3.6 Formular Daten

Das „Formular Daten“ ist auf der Ebene der Indikatoren verknüpfbar, aber durch die Tabellenbeziehungen sind die hier getätigten Einträge auch eindeutig den identifizierten Gebieten zuzuordnen. Das „Formular Daten“ öffnet sich nach Klick auf den entsprechenden Button („Neue Datenreferenz anlegen“ oder „Datenreferenz editieren“) im „Formular Indikatoren“. Abbildung 13 zeigt eine Darstellung des blanko Formulars „Daten“.

Die folgende Tabelle 12 stellt sämtliche Felder im „Formular Daten“ dar und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 12: Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Daten“ im Bewertungsmodul

Feldbezeichnung	Funktion
ID_DateiGruppen	Primärschlüssel, der manuell eingegeben wird (über Eingabeaufforderung). Die ID_DateiGruppen ist aus der ArbeitsDB zu entnehmen.
DokID	ID, die aus der ArbeitsDB zu entnehmen ist.
Datei_ID	ID, die aus der ArbeitsDB zu entnehmen ist.
Dateilieferungs_ID	ID, die aus der ArbeitsDB zu entnehmen ist.
Original_Source_ID	Für GIS-Daten wird anstelle der DateiID, eine Original Source ID verwendet. Die Informationen können direkt aus der Attributtabelle des jeweiligen Datums in GIS extrahiert werden.
Dateityp	Sofern eine Einzeldatei, kann hier der Typ angegeben werden (z. B. PDF oder XLS). Dieses Feld ist optional.
Beschreibung	Kurze Beschreibung der vorliegenden Daten. Dieses Feld ist optional.

Die Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Daten“ ist beliebig.

Die für das „Formular Daten“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

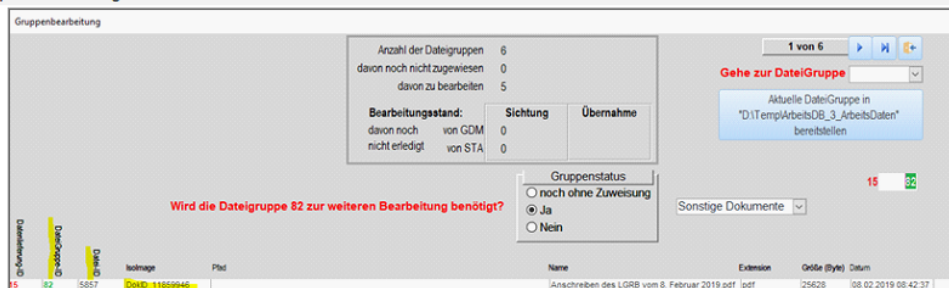
Tabelle 13: Pflichtfelder für das „Formular Daten“ im Bewertungsmodul

Pflichtfelder
ID_DateiGruppen
DokID
Datei_ID
Dateilieferungs_ID

Formular Daten
Formular speichern und schließen

ID_DateiGruppen	<input type="text" value="1"/>
DokID	<input type="text" value="0"/>
Datei_ID	<input type="text" value="0"/>
Datenlieferungs_ID	<input type="text" value="0"/>
Original_Source_ID	<input type="text"/>
Dateityp	<input type="text"/>
Beschreibung	<input style="height: 40px;" type="text"/>

Für Nicht-GIS Daten kann aus der ArbeitsDB die DokID, DateigruppenID sowie DateiID referenziert werden. An diese kommt man in dem man die entsprechende Lieferung in der ArbeitsDB öffnet (über die DokID, welche die ID der Datenlieferung ist) und dann die „Gruppenbearbeitung“ öffnet:



Für GIS-Daten wird anstelle der DateiID, eine Original Source ID verwendet. Die Informationen können direkt aus der Attributtabelle des jeweiligen Datums in GIS extrahiert werden. Dabei ist die DokID in den Attributtabelle als ORIG_ELO_ID_Basis gekennzeichnet und der Original Source ID als ORIG_SRC_ID_Basis, die DateigruppenID heißt Gruppen ID und steht ganz hinten (s. Bild unten). Für GIS Daten kann man die Original Source ID auch in der ArbeitsDB finden indem man die Importanweisung über „ArcGIS Bearbeitung“ öffnet. Nummer steht dann in blau oben rechts.

OBJECTID_Basis	GlobalID_Basis	ORIG_SRC_ID_Basis	ORIG_ELO_ID_Basis	ORIG_ID_WERT_Basis	STA_GZ_Basis	Lieferant_Basis	Lieferdatum_Ba
119121	(BA353801-3123-4867-BE66-6AB475EEF8A)	97	11859946	97_35899	SG02101/1-1/2-2019...	UMBWL	13.02.2019

Abbildung 13: Ansicht des blanko „Formular Daten“ im Bewertungsmodul

In Abbildung 14 ist beispielhaft dargestellt, an welcher Stelle innerhalb der ArbeitsDB die Dateigruppen_ID, DokID, Datei_ID und Datenlieferungs_ID einzusehen sind.

Wird die Dateigruppe 2572 zur weiteren Bearbeitung benötigt?

noch ohne Zuweisung
 Ja
 Nein

GIS-Daten

Datenlieferungs-ID	Dateigruppe-ID	Datei-ID	Isolmage	Pfad	Name	Extension
27	2572	23925	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.cpg	cpg
27	2572	23926	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.dbf	dbf
27	2572	23927	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.prj	prj
27	2572	23928	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.sbn	sbn
27	2572	23929	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.sbx	sbx
27	2572	23930	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.shp	shp
27	2572	23931	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.shp.xml	xml
27	2572	23932	DokID_11842115	\5VSONG-Modell	profile_isong_3_4_5.shx	shx

Abbildung 14: Beispielhafte Ansicht aus der ArbeitsDB zur Anzeige der Dateigruppen_ID, DokID, Datei_ID und Datenlieferungs_ID

3.3.7 Formular Literatur

Das „Formular Literatur“ ist sowohl auf der Ebene der Indikatoren als auch auf der Ebene der Geosynthese verknüpfbar, aber durch die Tabellenbeziehungen sind die hier getätigten Einträge auch eindeutig den identifizierten Gebieten zuzuordnen. Das „Formular Literatur“ öffnet sich nach Klick auf den entsprechenden Button („Neue Literaturreferenz anlegen“ oder „Literaturreferenz editieren“) im „Formular Indikatoren“ oder im „Formular Geosynthese“. Abbildung 15 zeigt eine Darstellung des blanko Formulars „Literatur“.

Die folgende Tabelle 14 listet sämtliche Felder im „Formular Daten“ und erklärt deren Funktionen.

Tabelle 14: Feldbezeichnungen und Funktionen für das „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul

Feldbezeichnung	Funktion
Referenztyp	Beschreibung des Typs (z. B. Buch, Bericht, etc.)
Autoren	Alle beteiligten Autoren. Format bspw.: Meyer, A.; Müller, B.; Schmidt, C.
Hauptautor	Erster Autor
Jahr	Erscheinungsjahr der Literaturquelle
Titel	Titel der Literaturquelle
DOI	Digital Object Identifier. Dieses Feld ist optional.
ISBN	Internationale Standardbuchnummer. Dieses Feld ist optional.
ISSN	Internationale Standardnummer für fortlaufende Sammelwerke. Dieses Feld ist optional.
Journal	Name des Journals. Dieses Feld ist optional.
Volume	Bandbezeichnung (Nummer). Dieses Feld ist optional.
Editor	Name des Editors. Dieses Feld ist optional.
Herausgeber	Name des Herausgebers. Dieses Feld ist optional.
Seiten	Seitenanzahl. Dieses Feld ist optional.

Feldbezeichnung	Funktion
URL	Adresse der Website. Dieses Feld ist optional.

Die Reihenfolge in der Bearbeitung der Felder für das „Formular Literatur“ ist beliebig.

Die für das „Formular Literatur“ zwingend auszufüllenden Felder sind in Tabelle 15 und Abbildung 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Pflichtfelder für das „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul

Pflichtfelder
Autoren
Hauptautor
Jahr
Titel

Formular Literatur
Formular speichern und schließen

Referenztyp:	
Autoren:	
Hauptautor:	
Jahr:	
Titel:	
DOI:	
ISBN:	
ISSN:	
Journal:	
Volume:	
Editor:	
Herausgeber:	
Seiten	
URL:	

Abbildung 15: Ansicht des blanko „Formular Literatur“ im Bewertungsmodul

4 Datengrundlage

Als Datengrundlage dienen alle im Zuge der Datenabfrage zu den Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder gemäß § 13 Abs. 2 StandAG gelieferten Daten (inkl. Literaturverweisen und Hinweisen). Darüber hinaus wird auf prozessierte Daten bezüglich der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen zurückgegriffen sowie auf die erstellten/bearbeiteten 3D-Modelle zu den Wirtsgesteinsformationen. Des Weiteren kann frei zugängliche Literatur für die Bewertung herangezogen werden (vgl. Anwendungsprinzip 2 Kapitel 2).

Die Daten, welche von den zuständigen Behörden geliefert wurden, liegen gesammelt in der sogenannten ArbeitsDB vor. Handelt es sich um Daten mit Raumbezug, so können diese mit Hilfe von ArcGIS visualisiert werden. Die Bewertung der räumlichen Charakteristika können teilweise anhand der mit SKUA-GOCAD bearbeiteten 3D-Ländermodelle erfolgen.

Im Zuge der Übergabe der identifizierten Gebiete an die Bearbeiter/-innen der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, nach Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen, werden die Flächen der Gebiete in Form von 2D-Polygon(e) im DXF-Format, wenn möglich inklusive Informationen über die Mächtigkeit und Tiefenlage, übergeben. Des Weiteren stehen bundeslandspezifische und länderübergreifende Modellierprotokolle zu den identifizierten Gebieten zur Verfügung, welche die Vorgehensweise der Bearbeitung der Mindestanforderungen dokumentieren und einen geologischen Überblick/Zusammenfassung enthalten.

Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist zu erwarten, dass flächendeckend keine detaillierten Informationen vorliegen. Dementsprechend erfolgt nach Anwendungsprinzip 3 (siehe Kapitel 2) die Bewertung einiger Anlagen zum Gesetz zum jetzigen Zeitpunkt generisch, anhand von wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätzen (BGE 2020b). Tabelle 16 zeigt, für welches Wirtsgestein und für welche Kriterien Referenzdatensätze vorliegen. Diese Datensätze sind im Dokument „Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen des § 13 StandAG“ der BGE publiziert (BGE 2020b).

Tabelle 16: Übersicht der Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG für welche jeweils ein wirtsgesteinsspezifischer Referenzdatensatz für die Bewertung der identifizierten Gebiete zur Verfügung steht

Kriterium	Referenzdatensatz liegt vor für Steinsalz in steiler Lagerung	Referenzdatensatz liegt vor für stratiformes Steinsalz	Referenzdatensatz liegt vor für Kristallin-gestein	Referenzdatensatz liegt vor für Tongestein
Anlage 1	ja	ja	ja	ja
Anlage 2	nein	nein	nein	nein
Anlage 3	nein	nein	ja	nein
Anlage 4	ja	nein	ja	nein
Anlage 5	ja	ja	ja	ja
Anlage 6	ja	ja	ja	ja
Anlage 7	ja	ja	ja	ja
Anlage 8	ja	ja	ja	ja
Anlage 9	ja	ja	ja	ja
Anlage 10	ja	ja	ja	ja
Anlage 11	nein	nein	nein	nein

5 Vorgehensweise

Für die Bewertung der Indikatoren und Kriterien eines jeden identifizierten Gebiets ist folgendermaßen vorzugehen:

1. Lesen des Gesetzestextes, des Dokumentes „Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien“ (BGE 2020d) sowie des Einleitungsteils der Arbeitshilfe (Kapitel 1 bis 4).
2. Sichten des länderübergreifenden Modellierprotokolls inklusive geologischer Zusammenfassung des jeweiligen identifizierten Gebiets sowie des jeweiligen GIS-Projekts mit den im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen zur Verfügung gestellten Informationen.
3. Anlegen des zu bewertenden identifizierten Gebiets im Bewertungsmodul (siehe Kapitel 3) (sollte das identifizierte Gebiet noch nicht im Bewertungsmodul aufgeführt sein) und Übertragen der geologischen Zusammenfassung aus dem jeweiligen länderübergreifenden Modellierprotokoll in das Bewertungsmodul. Für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung ist die geologische Zusammenfassung nicht Teil der im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen übergebenen Modellierprotokolle. Aus diesem Grund ist diese nicht in das Bewertungsmodul zu übertragen.

4. Bewertung eines Indikators:

4.4. Lesen der Arbeitshilfe des entsprechenden Kriteriums sowie des Indikators

4.5. Existiert ein Referenzdatensatzeintrag für den Indikator bzw. das Kriterium (vgl. Tabelle 16 sowie BGE (2020b)), so ist der Text aus diesem zu übertragen und die entsprechenden Referenzen in das Bewertungsmodul zu übernehmen.

4.6. Existiert kein Referenzdatensatzeintrag, so ist eine verbalargumentative Begründung inkl. Dokumentation aller verwendeten Daten und Literatur im Bewertungsmodul zu erstellen. Die Vorgehensweise ist dem vorliegenden Dokument zu entnehmen.

4.7. Auswahl einer Wertungsgruppe im Bewertungsmodul.

5. Bewertung eines Kriteriums (nachdem alle Indikatoren des Kriteriums bewertet wurden):

5.4. Sichten der Begründungen der bereits durchgeführten Bewertungen der Indikatoren.

5.5. Erstellung einer verbalargumentativen Begründung auf Basis der bereits durchgeführten Bewertungen der Indikatoren.

5.6. Auswahl einer Wertungsgruppe im Bewertungsmodul.

Nachdem alle Indikatoren und Kriterien bewertet wurden, erfolgt eine zusammenfassende Bewertung für jedes identifizierte Gebiet im Bewertungsmodul. Diese erfolgt ebenfalls verbalargumentativ auf Basis der dokumentierten Begründungen zu in den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG aufgeführten Indikatoren und Kriterien.

6 Arbeitshilfe für die Geosynthese

6.1 Beschreibung der Geosynthese

Für jedes identifizierte Gebiet ist im Bewertungsmodul eine Geosynthese zu verknüpfen. Dabei handelt es sich um eine prägnante Zusammenfassung der wichtigsten bewertungsrelevanten geologischen Fakten⁴.

Die Geosynthese beinhaltet die folgenden Informationen: den Namen der betrachteten geologischen Einheit, eine Information über das vorhandene Wirtsgestein und dessen geographische Verbreitung, eine Angabe der Stratigraphie sowie eine geologische Charakterisierung in Form einer geowissenschaftlichen Übersicht inklusive Empfehlung für weiterführende Literatur.

6.2 Anwendung der Geosynthese

Die Wirtsgesteinsinformation wird automatisch aus dem „Formular Gebiete“ übernommen und muss dementsprechend dort aus einem Drop-down-Menü ausgewählt werden, siehe Kapitel 3.

Die geographische Verbreitung der Wirtsgesteinsinformation ist den Modellierprotokollen zu entnehmen.

Die Stratigraphie enthält Angaben zu geochronologischen Einheiten wie z. B. Periode (z. B. Kreide) und Epoche (z. B. Unterkreide), sowie lithostratigraphischen Einheiten (z. B. Peine-Formation).

Die geologische Charakterisierung bietet eine geowissenschaftliche Übersicht. Sie sollte einen Überblick über die Lithologie und wenn vorhanden, mineralogische Besonderheiten sowie pauschale Mächtigkeitsangaben der Formation enthalten. Eine geowissen-

⁴ Der Begriff Geosynthese ist aus dem *Entwurf der Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, Stand 06.04.2020 (BMU 2020)* übernommen worden. Darin heißt es in § 5 der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (Endl-SiUntV) wörtlich:

„(1) Für jede vorläufige Sicherheitsuntersuchung ist eine Geosynthese zu erstellen.

(2) Die Geosynthese enthält die Dokumentation und Interpretation aller geowissenschaftlichen Informationen zu einem Untersuchungsraum. Ziel der Geosynthese ist eine konsistente Darstellung insbesondere der für die Sicherheit des Endlagers relevanten geowissenschaftlichen Gegebenheiten. Der Umfang der dokumentierten geowissenschaftlichen Informationen muss das für die jeweilige vorläufige Sicherheitsuntersuchung erforderliche Maß abdecken.

(3) Informationen, die außerhalb des Untersuchungsraums gewonnen wurden, sind zu kennzeichnen. Ihre Übertragbarkeit auf den Untersuchungsraum und die Notwendigkeit der Übertragung sind zu begründen.“

Absatz (1) kommt in der aktuellen Phase des Standortauswahlverfahrens nicht zur Anwendung. Die in der *Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien* (BGE 2020d) gewählte Bestimmung des Begriffs Geosynthese ist in Übereinstimmung mit Absatz (2) und (3). Im Zuge der Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen wird die für die identifizierten Gebiete verfasste prägnante Zusammenfassung der geologischen Fakten für die ermittelten Teilgebiete im Sinne des § 5 Endl-SiUntV erweitert werden.

schaftliche Zusammenfassung zu den Wirtsgesteinsformationen der identifizierten Gebiete ist dem jeweiligen länderübergreifenden Modellierprotokoll zu entnehmen und in das Bewertungsmodul zu kopieren.

Des Weiteren kann optional eine Empfehlung für weiterführende Literatur angegeben werden. Bevorzugt ist hier ein Verweis auf den „Geologischen Führer“ des jeweiligen Bundeslandes, und wenn vorhanden ein Link zum „Lithostratigraphischen Lexikon Deutschland“ zu referenzieren. Abbildung 12 im Kapitel 3.3.5 zeigt die Ansicht des „Formulars Geosynthese“ im Bewertungsmodul.

7 Arbeitshilfe für die Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG

7.1 Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)

7.1.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ bewertet die hydrogeologischen Verhältnisse im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (BT-Drs 18/11398, S. 74). Das Kriterium dient der Bewertung der erreichbaren Qualität des Einschlusses von radioaktiven Stoffen (§ 24 Abs. 3 StandAG). Eine günstige Situation ergibt sich durch ein geringes Angebot von Grundwasser, sowie keinem oder langsamen Transport von Schadstoffen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Appel 2016).

7.1.2 Anwendung des Kriteriums

Da voraussichtlich noch keine standortbezogenen Daten vorliegen, erfolgt die Anwendung des Kriteriums für das jeweilige Wirtsgestein (siehe Anwendungsprinzip 7 Kapitel 2).

Der Begriff „Gesteinstyp“ (siehe bewertungsrelevante Eigenschaft „Grundwasserströmung“ und „Diffusionsgeschwindigkeit“ Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) wird dabei als Verweis auf die potenziellen Wirtsgesteine nach § 1 Abs. 3 StandAG verstanden. Diese Wirtsgesteine können potenziell nach weiteren Gesteinstypen differenziert werden, z. B. Kristallingestein in bspw. Granite und Gneise, welche je nach geologischer Herkunft an verschiedenen Standorten unterschiedliche hydrogeologische Eigenschaften aufweisen können (Appel & Habler 2001, S. 62 ff.). Jedoch werden im ersten Schritt des Verfahrens die Gesteinstypen zusammengefasst je Wirtsgestein betrachtet (siehe BGE 2020b).

Der Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit“ der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Grundwasserangebot“ geht als Eingangsparameter in die Berechnung des Indikators „Abstandsgeschwindigkeit“ der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Grundwasserströmung“ ein. Im Zuge der Bewertung werden daher diese beiden bewertungsrelevanten Eigenschaften in der Anwendung getauscht.

Es wird erwartet, dass Informationen zum effektiven Diffusionskoeffizienten in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens nicht flächendeckend vorliegen. Da der Diffusionskoeffizient abhängig vom Porenvolumen des Gesteins ist, können Parameter, welche dieses Volumen beschreiben, als Indikatoren für die Einordnung des effektiven Diffusionskoeffizienten herangezogen werden (Appel 2016). Das StandAG nennt konkrete Parameter für das Wirtsgestein Tongestein. Liegen keine effektiven Diffusionskoeffizienten für Tongestein vor, so kann die bewertungsrelevante Eigenschaft „Diffusionsgeschwindigkeit bei Tongestein“ angewendet werden.

7.1.3 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Grundwasserangebot

7.1.3.1 Beschreibung – Grundwasserangebot

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Grundwasserangebot“ wird durch den Indikator „Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps in [m/s]“ beschrieben (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Die Gebirgsdurchlässigkeit ist eine in situ gemessene Größe für die Durchlässigkeit eines großskaligen Gesteinsverbandes (mehrere 10er oder 100er Meter), welche sich aus der Trennfugen- bzw. Kluftdurchlässigkeit und Matrixdurchlässigkeit zusammensetzt. Im Gegensatz dazu wird die Gesteinsdurchlässigkeit im Labor ermittelt und betrachtet einzig die Matrixdurchlässigkeit des Gesteins, typischerweise auf einer Millimeter- bis Zentimeterskala.

Die Grundlage für die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes, in diesem Fall der Gebirgsdurchlässigkeit, bildet die durch Darcy entdeckte Abhängigkeit zwischen dem Volumenstrom Q in m^3/s proportional zur Fläche A in m^2 und dem Druckhöhenunterschied h in m/m und umgekehrt proportional zur Fließlänge l in m :

$$Q \sim \frac{A \cdot h}{l} \quad (1)$$

Durch die Einführung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f wird das Darcy-Gesetz gebildet:

$$Q = k_f \frac{A \cdot h}{l} \quad (2)$$

Die Permeabilität ist im engeren Sinne eine gesteinspezifische Konstante, welche das Porensystem, unabhängig von den Fluideigenschaften des die Poren füllenden Mediums, beschreibt. Der Permeabilitätskoeffizient k ist wie folgt definiert:

$$k = \mu \cdot \frac{Q}{A} \cdot \frac{l}{g \cdot \rho \cdot h} \quad (3)$$

Für die Berechnung des Permeabilitätskoeffizienten k in m^2 werden die Fluidichte ρ in m/s^2 , die Erdbeschleunigung g in m/s^2 und die dynamische Viskosität μ in $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ bzw. $\text{Pa} \cdot \text{s}$ verwendet.

Das Vermögen des Gesteins, Grundwasser zu leiten, wird mit dem Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert beschrieben und wird in der Hydrogeologie typischerweise durch den Proportionalitätsfaktor k_f (Durchlässigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert, Durchlässigkeitskoeffizient oder k_f -Wert) als Einheit in Strecke pro Zeit ausgedrückt (typischerweise Meter pro Sekunde). Es handelt sich physikalisch nicht um eine Geschwindigkeit, sondern um eine, auf die Querschnittsfläche des durchströmten Mediums normierte, Volumenstromrate. Die charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit ist sowohl abhängig von den Gesteinseigenschaften als auch von den Eigenschaften des strömenden Fluids und stellt eine Beziehung zwischen dem hydrogeologischen Durchlässigkeitsbeiwert k_f in m/s und dem

Permeabilitätskoeffizienten k in m^2 her. Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f in m/s ist definiert als:

$$k_f = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} \quad (4)$$

Die für die Berechnung der charakteristischen Gebirgsdurchlässigkeit k_f in m/s verwendeten Variablen sind der Permeabilitätskoeffizient k in m^2 , die Fluidichte ρ in m/s^2 , die Erdbeschleunigung g in m/s^2 und die dynamische Viskosität μ in $\text{kg/m} \cdot \text{s}$ bzw. $\text{Pa} \cdot \text{s}$. Der Permeabilitätskoeffizient k in m^2 ist eine reine Materialkenngröße unabhängig vom Medium, welches durchströmt wird. Dies gilt nur für Einphasenflusssysteme (Hölting & Coldewey 2019, S. 24-26).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Grundwasserangebot	Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps [m/s]	$< 10^{-12}$	$10^{-12} - 10^{-10}$	$> 10^{-10^5}$

Die Wertungsgruppe „weniger günstig“ bezieht sich auf Endlagersysteme, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen (Fußnote zu Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

7.1.3.2 Anwendung – Grundwasserangebot

Laut Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG soll die charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps für die Bewertung des Kriteriums Grundwasserangebot herangezogen werden. Da diese jedoch präzise nur in situ erfasst werden kann und dementsprechend gebietsspezifisch erhoben werden muss, kann zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund der Datenlage keine Differenzierung zwischen der Gebirgs- und der Gesteinsdurchlässigkeit vorgenommen werden. Aus diesem Grund wird ersatzweise die Gesteinsdurchlässigkeit betrachtet. Die Gebirgsdurchlässigkeit ist in der Regel größer als die Gesteins-

⁵ „Für Endlagersysteme, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, sind Standorte mit einer Gebirgsdurchlässigkeit von mehr als 10^{-10} m/s gemäß § 23 Abs. 4 Nr. 1 StandAG als nicht geeignet aus dem Verfahren auszuschließen“ (aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

durchlässigkeit, da letztere nicht die Trennfugen und/oder Klüfte berücksichtigt. Dementsprechend wird die Gebirgsdurchlässigkeit auf der Grundlage der Gesteinsdurchlässigkeit unterschätzt.

Wie oben ausgeführt, erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete für den Gesteinstyp, dementsprechend für das Wirtsgestein. Hierfür soll der jeweilige Referenzdatensatz herangezogen werden (siehe BGE 2020b).

7.1.4 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Grundwasserströmung

7.1.4.1 Beschreibung – Grundwasserströmung

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Grundwasserströmung“ wird durch den Indikator „Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers in [mm/a]“ beschrieben (vgl. Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ist die Transportgeschwindigkeit des Wassers und der darin gelösten nicht sorbierenden Stoffe im Gestein. Sie definiert damit die im Gestein zurückgelegte Strecke eines nicht sorbierenden Stoffes in einem bestimmten Zeitintervall. Entsprechend dem Darcy-Gesetz gilt:

$$v_a = \frac{(k_f \cdot i)}{n_e} \quad (5)$$

Die Abstandsgeschwindigkeit v_a in m/s wird berechnet aus dem Produkt der Gebirgsdurchlässigkeit k_f in m/s und dem hydraulischen Gradienten i in m/m im Verhältnis zur einheitslosen, effektiven (durchflusswirksamen) Porosität n_e . Der hydraulische Gradient i in m/m beschreibt das Gefälle in einem Grundwasserleiter. Nach Formel (5) verringert sich die Abstandsgeschwindigkeit, je geringer die Gebirgsdurchlässigkeit und das hydraulische Gefälle sind und desto größer die effektive Porosität ist. Das Gefälle ist der Quotient aus h in m, dem Druckhöhenunterschied, und l in m, der Fließlänge des Grundwasserleiters.

$$i = \frac{h}{l} \quad (6)$$

Die effektive (durchflusswirksame) Porosität wird auch als effektiver (durchflusswirksamer) Porenanteil bezeichnet. Ein hoher effektiver Porenanteil hat immer eine hohe Durchlässigkeit zur Folge. Es handelt sich dabei um das Verhältnis vom effektiven (durchflusswirksamen) Porenvolumen und zum Gesamtvolumen. Das effektive Porenvolumen wird aus der Differenz zwischen dem gesamten Porenvolumen und dem Haftwasservolumen gebildet. Bei Haftwasservolumen handelt es sich um das an Korngrenzen/Porenoberflächen adhäsiv gebundene Wasser- oder allgemein Fluid-Volumen. Dieser Porenraum steht der Bewegung des Wassers/Fluides nicht zur Verfügung. (Hölting & Coldewey 2019, S. 11-13).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Grundwasserströmung	Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers [mm/a]	< 0,1	0,1 – 1	> 1

7.1.4.2 Anwendung – Grundwasserströmung

Wie in Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt die Bewertung des Indikators für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen werden. Hierfür soll der jeweilige Referenzdatensatz herangezogen werden (BGE 2020b).

7.1.5 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Diffusionsgeschwindigkeit

7.1.5.1 Beschreibung – Diffusionsgeschwindigkeit

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Diffusionsgeschwindigkeit“ wird durch den Indikator „Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C in [m²/s]“ beschrieben (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Das 1. Ficksche Gesetz beschreibt die Ausbreitung eines diffundierenden Stoffes innerhalb eines Gases oder Fluides von Bereichen höherer Konzentration zu Bereichen niedriger Konzentration. Die Ausbreitung ist proportional zum räumlichen Gradienten der Stoffkonzentration. Die Proportionalitätskonstante ist der Diffusionskoeffizient. Der effektive Diffusionskoeffizient als Indikator charakterisiert die Diffusionsgeschwindigkeit, also die, nach Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG, bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums. Neben dem begrenzten Porenvolumen gehen, zusätzlich die eingeschränkte Zugänglichkeit von Poren geringer Öffnungsweite (Konstriktivität) und besonders die zur Verlängerung des Migrationsweges führende gewundene Form von Poren (Tortuosität) in den effektiven Diffusionskoeffizienten ein (Appel 2016). Der effektive Diffusionskoeffizient D_{eff} in m²/s wird nach Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C betrachtet bzw. Messwerte zur Bewertung des Indikators herangezogen. Es handelt sich dabei um Wasser, bei dem das leichte ¹H-Isotop im Wassermolekül (teilweise) durch schweres Tritium (³H) ausgetauscht wurde.

Nach Jacops et al. (2017, S. 4-5) wird der effektive Diffusionskoeffizient D_{eff} in m²/s wie folgt definiert:

$$D_{eff} = D_0 \cdot n_{diff} \cdot G \quad (7)$$

Hierbei sind D_0 der Diffusionskoeffizient in freiem Wasser in m²/s, n_{diff} die einheitslose diffusionswirksame Porosität und G der gesteinspezifische Geometriefaktor, welcher kleiner gleich eins ist. Der gesteinspezifische Geometriefaktor G ergibt sich dabei folgendermaßen:

$$G = \frac{\tau}{\delta} \quad (8)$$

Hierbei sind δ die Konstriktivität und τ die Tortuosität (Jacops et al. 2017, S. 5).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusions- geschwindigkeit	Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Ge- steinstyps für tritiiertes Was- ser (HTO) bei 25 °C [m ² /s]	< 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻¹⁰	> 10 ⁻¹⁰

7.1.5.2 Anwendung – Diffusionsgeschwindigkeit

Wie oben ausgeführt, erfolgt die Bewertung für den Gesteinstyp, dementsprechend für das Wirtsgestein (siehe Kapitel 7.1.2). Hierfür soll der jeweilige Referenzdatensatz herangezogen werden.

Sollten keine effektiven Diffusionskoeffizienten vorliegen, so kann im Falle des Wirtsgesteins Tongestein die Einordnung, wie in Kapitel 7.1.2 beschrieben, anhand von Parametern, welche das vorhandene Porenvolumen beschreiben, vorgenommen werden (siehe Kapitel 7.1.6 „Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein“). Im Bewertungsmodul muss daher für das Wirtsgestein „Tongestein“ die zusätzliche Angabe getätigt werden, ob nach Diffusionsgeschwindigkeit oder nach Porosität und Verfestigungsgrad bewertet wird (dementsprechend aktualisiert sich das Layout der Formulare), siehe Kapitel 3.3.2.

7.1.6 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein

7.1.6.1 Beschreibung – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein⁶

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein“ wird durch die Indikatoren „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ beschrieben (Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Für eine Abschätzung der Diffusionsgeschwindigkeit bei Tongestein im Falle nicht vorhandener Daten können diese Indikatoren herangezogen werden, da mit Hilfe dieser Indikatoren eine Charakterisierung des Porenvolumens erfolgen kann. Die Indikatoren werden dabei als Alternativen verstanden.

Die absolute Porosität n_p in % ist das Verhältnis von Hohlraumvolumen zum Gesamtvolumen des Gesteins. Sie wird durch den Quotienten des Volumens aller Poren V_p zu dem Gesamtvolumen V_{ges} beschrieben (Hölting 1984, S. 72):

$$n_p = \frac{V_p}{V_{ges}} \quad (9)$$

„Die Ausprägung der absoluten Porosität wird bestimmt von der Lithologie, der Versenkungsgeschichte, dem Gesteinstyp und der Diagenese (Zementation und Lösungerscheinungen)“ (Alfarra et al. 2020, S. 141). Die physikalische Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten von der durchflusswirksamen Porosität ist in Formel (7) ersichtlich. Eine Abnahme der Porosität geht mit einer Verringerung des Diffusionskoeffizienten einher. Der empirische Zusammenhang zwischen Porenvolumen, genauer der Porosität, und der Diffusion von HTO wird bspw. in Mazurek et al. (2008, S. 100) anhand verschiedener international potenziell für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle infrage kommender Tongesteine gezeigt und diskutiert (siehe Abbildung 16).

⁶ Der Indikator bezieht sich laut Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) auf Tonstein. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Anwendung des Indikators für das gesamte Wirtsgestein Tongestein, sowohl für Tonstein als auch für unverfestigte Tone, durchzuführen ist.

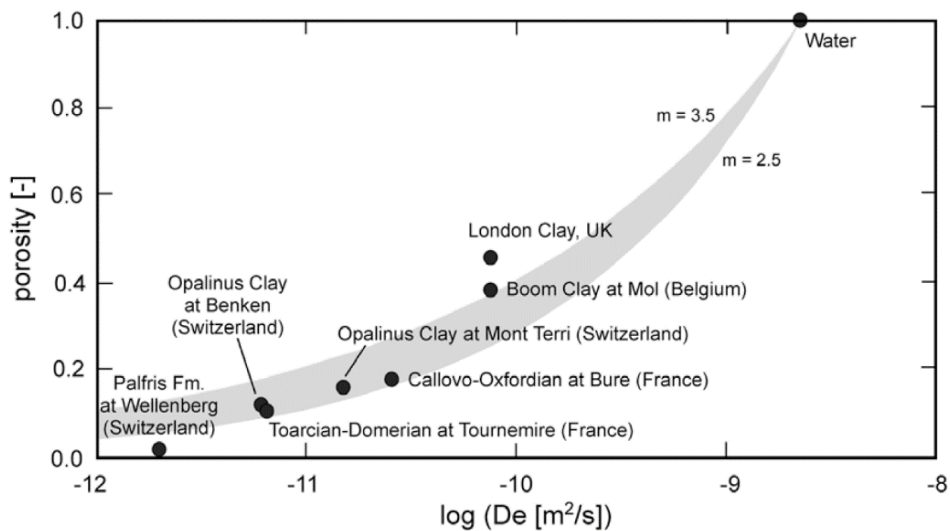


Abbildung 16: Effektive Diffusionskoeffizienten von Tritium (senkrecht zur Schichtung gemessen) verschiedener Tongesteinsformationen. Grafik entnommen aus Mazurek et al. (2008, S. 100), Werte aus (Andra 2005), Atkins (1990), Boisson (2005), Bourke et al. (1993) und (Nagra 1993, 2002).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 20: Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Absolute Porosität

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein	Absolute Porosität	< 20 %	20 – 40 %	> 40 %

Das Porenvolumen bzw. die Porosität ist wiederum abhängig vom Verfestigungsgrad. „Der Verfestigungsgrad ist eine qualitative Bewertung für die Festigkeit von Tongestein und ist abhängig vom Grad der Kompaktion sowie diversen chemisch-mineralogischen Wechselwirkungen (z. B. Zementation)“ (Alfarra et al. 2020, S. 141). Mit zunehmender Versenkungstiefe erhöht sich der Verfestigungsgrad, gleichzeitig verringert sich die Porosität. Dieser Zusammenhang ist bspw. in Hoth et al. (2007, S. 7) empirisch gezeigt. Wie oben beschrieben, geht diese Porositätsabnahme mit einem abnehmenden Diffusionskoeffizienten einher (vgl. Formel (9)). Aufgrund dieses Zusammenhangs können die beiden Indikatoren „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ als Alternativen verstanden werden.

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 21 aufgeführt.

Tabelle 21: Auszug aus Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Verfestigungsgrad

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein	Verfestigungsgrad	Tonstein	fester Ton	halbfester Ton

7.1.6.2 Anwendung – Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein

Der Verfestigungsgrad ist eine qualitative Bewertung der Festigkeit von Tongestein und abhängig vom Grad der Kompaktion. Jedoch existiert keine allgemeine Definition der Verfestigungsgrade. Nach Beushausen et al. (2020, S. 140) können die Parameter Zugfestigkeit, Versenkungstiefe und Diageneseegrad (Zementation und Lösung) herangezogen werden. Weiterhin kann die Ausrollgrenze von Ton auf Basis des Wassergehalts ermittelt werden. Im Zusammenhang mit den physikalischen und chemischen Parametern im Hinblick auf die diagenetischen Veränderungen des Tongesteins steht außerdem noch der Faktor Zeit. Im jetzigen Schritt des Verfahrens wird davon ausgegangen, dass solche Informationen nicht in ausreichendem Umfang vorliegen, daher ist für eine Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete der Referenzdatensatz heranzuziehen. In diesem sind im Falle des Wirtsgesteins Tongestein sowohl typische Werte des effektiven Diffusionskoeffizienten sowie der Porosität dokumentiert.

Außerdem ist eine Bewertung des Indikators „Verfestigungsgrad“ vorzunehmen. Als erste Näherung kann die Bezeichnung bzw. Beschreibung der betroffenen Gesteinsformation durch lokale Geologen berücksichtigt werden (siehe bspw. „Geologischer Führer“ des jeweiligen Bundeslandes oder Litholex).

7.2 Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)

7.2.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ bewertet das Einschlussvermögen der barrierewirksamen Gesteine. In der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens liegen noch keine Daten für Modellrechnungen für die Ableitung des Einschlussvermögens vor (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Für eine erste Bewertung werden daher räumliche Charakteristika (Mächtigkeit, Umschließung, Tiefenlage und Ausdehnung) sowie im Falle des Wirtsgesteins Tongestein das hydraulische Potenzial der barrierewirksamen Gesteine herangezogen.

7.2.2 Anwendung des Kriteriums

Wie in Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) ausgeführt, werden im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG endlagerrelevante Gesteinsabfolgen oder -formationen ausgewiesen, welche einen mindestens 100 Meter mächtigen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen können.

Im Zuge der Phase I, die die Ausweisung der Teilgebiete einschließt, können weder der einschlusswirksame Gebirgsbereich noch der Einlagerungsbereich bzw. das die Abfälle aufnehmende Wirtsgestein konkret räumlich beschrieben werden (vgl. Anwendungsprinzip 7 Kapitel 2). Die konkrete räumliche Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und des Einlagerungsbereichs sowie die Konfiguration einschlusswirksamen Gebirgsbereich/Wirtsgestein werden fortlaufend im weiteren Verfahren ermittelt und mit zunehmendem Detaillierungsgrad immer wieder neu bewertet.

Die denkbaren einschlusswirksamer Gebirgsbereich-Wirtsgesteins-Konfigurationen haben zunächst keinen Einfluss auf die Anwendung der Anforderungen und Kriterien nach §§ 22 bis 24 StandAG oder deren Ergebnisse. Grundsätzlich wird aber bereits jetzt der Fall berücksichtigt, dass das Wirtsgestein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist. Das heißt, Wirtsgestein und einschlusswirksamer Gebirgsbereich sind Teil ein und desselben Gesteinskörpers (vgl. AkEnd 2002). Dieser Gesteinskörper weist zum einen die funktionalen Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches auf und erlaubt zum anderen die Anlage eines Endlagerbergwerks.

Die Anwendung der Indikatoren der Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG erfolgt dementsprechend für den im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesenen Gesteinsbereich, also auf die identifizierten Gebiete. Abbildung 17 zeigt beispielhaft die sicherheitsrelevanten Bestandteile für den Fall, dass das Wirtsgestein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist.

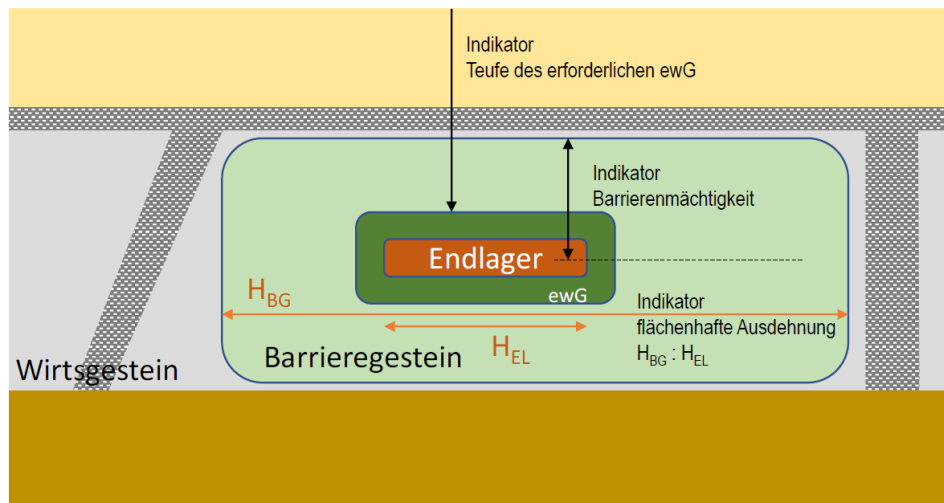


Abbildung 17: Darstellung der räumlichen Konfiguration der sicherheitsrelevanten Bestandteile für den Fall, dass sich der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Wirtsgestein befindet. Inklusive Visualisierung der Indikatoren, H_{BG} = horizontale Ausdehnung des Barrieregesteins, H_{EL} = horizontale Ausdehnung des Endlagers (Alfarra et al. 2020, S. 143).

Nur im Falle des Wirtsgesteins Tongestein erfolgt eine Bewertung der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Indikator „Potenzialbringer“ bei Tonstein – Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet“

Nach § 24 Abs. 2 StandAG tritt im Falle des § 23 Abs. 4 StandAG an die Stelle des Kriteriums der Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG die rechnerische Ableitung, welches Einschlussvermögen die technischen und geotechnischen Barrieren voraussichtlich erreichen. Nach § 23 Abs. 4 StandAG ist der rechnerische Nachweis spätestens in der Begründung für den Vorschlag nach § 18 Abs. 3 StandAG zu führen. Weiterhin wird in der Begründung zu § 24 Abs. 2 StandAG darauf hingewiesen, dass der Nachweis nur standortbezogen abgeleitet werden kann (BT-Drs 18/11398, S. 71). Der rechnerische Nachweis wird dementsprechend zu einem späteren Zeitpunkt im Verfahren erbracht werden.

7.2.3 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Barrierewirksamkeit

7.2.3.1 Beschreibung – Barrierewirksamkeit

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Barrierewirksamkeit“ wird durch die Indikatoren „Barrierenmächtigkeit [m]“ und „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ beschrieben (vgl. Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Nach Alfarra et al. (2020, S. 143) wird unter der Barrierenmächtigkeit in den Fällen, in denen der Einlagerungsbereich innerhalb des Barrieregesteins liegt (Konfigurationstyp A nach AkEnd (2002), siehe Abbildung 17), der kleinste Abstand zwischen der mittleren

Teufenlage des Einlagerungsbereiches und dem Rand des Barrieregesteins verstanden. Dabei wird diejenige Positionierung des Einlagerungsbereichs im Barrieregestein unterstellt, die diese Barrierenmächtigkeit maximiert. Der Einlagerungsbereich wird in seiner vertikalen Ausdehnung nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 17).

Dementsprechend muss zum jetzigen Zeitpunkt der in den einzelnen Wertungsgruppen angegebene Betrag der Barrierenmächtigkeit, siehe Tabelle 22, verdoppelt werden, um die Gesamtmächtigkeit des Barrieregesteins des identifizierten Gebietes bewerten zu können. Die Wertungsgruppen des Indikators „Barrierenmächtigkeit“ nach Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Tabelle 22: Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Barrierenmächtigkeit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kri- teriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indi- kator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierewirksamkeit	Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 – 100

Für den Indikator „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 23 aufgeführt.

Wie oben beschrieben wird grundsätzlich bereits jetzt der Fall berücksichtigt, dass das Wirtsgestein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ist und Wirtsgestein und einschlusswirksamer Gebirgsbereich gemäß AkEnd (2002) dementsprechend Teil ein und desselben Gesteinskörpers sind. Dieser Gesteinskörper weist zum einen die funktionalen Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs auf und erlaubt zum anderen die Anlage eines Endlagerbergwerks. Es wird dementsprechend davon ausgegangen, dass die Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich in jedem Fall gegeben ist (vgl. Abbildung 17).

Tabelle 23: Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierewirksamkeit	Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	vollständig	unvollständig, kleinere Fehlstellen in unkritischer Position	unvollständig, größere Fehlstellen in kritischer Position

7.2.3.2 Anwendung – Barrierewirksamkeit

1) Indikator „Barrierenmächtigkeit“

Wie oben begründet, erfolgt die Einordnung in Wertungsgruppen anhand der doppelten angegebenen Barrierenmächtigkeit. Diese doppelten Mächtigkeiten sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: *Barrieregesteinsmächtigkeiten für die Anwendung des Indikators „Barrierenmächtigkeit“ (verdoppelte Barrierenmächtigkeit aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)*

	Wertungsgruppe		
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrieregesteinsmächtigkeit (doppelte Barrierenmächtigkeit) [m]	> 300	200 – 300	100 – 200

Die Anwendung der Mindestanforderungen erfolgt für die verschiedenen Wirtsgesteine aufgrund der Datenlage technisch unterschiedlich. Daher wird die Anwendung des Indikators im Folgenden jeweils für die entsprechenden Wirtsgesteine beschrieben.

1.1) Anwendung – Steinsalz in steiler Lagerung

Informationen über die Barrieregesteinsmächtigkeit (doppelte Barrierenmächtigkeit) sind dem Modellierprotokoll sowie dem SKUA-GOCAD 3D-Modell des identifizierten Gebiets zu entnehmen. Das Protokoll enthält außerdem die Mächtigkeitsverteilung über das identifizierte Gebiet als Kartendarstellung, die Mächtigkeitsangaben sind auf 10er Meter gerundet. Im Bewertungsmodul ist die Maximalmächtigkeit zu dokumentieren, diese ist dem Modellierprotokoll zu entnehmen.

Der Wert kann außerdem folgendermaßen im 3D-Modell in SKUA-GOCAD überprüft werden:

Bei „*properties*“ des identifizierten Gebiets den „*Thickness layer*“ anwählen, mit Rechtsklick die „*Property Statistics*“ über „*Compute, Histogram...*“ öffnen (siehe Abbildung 18).

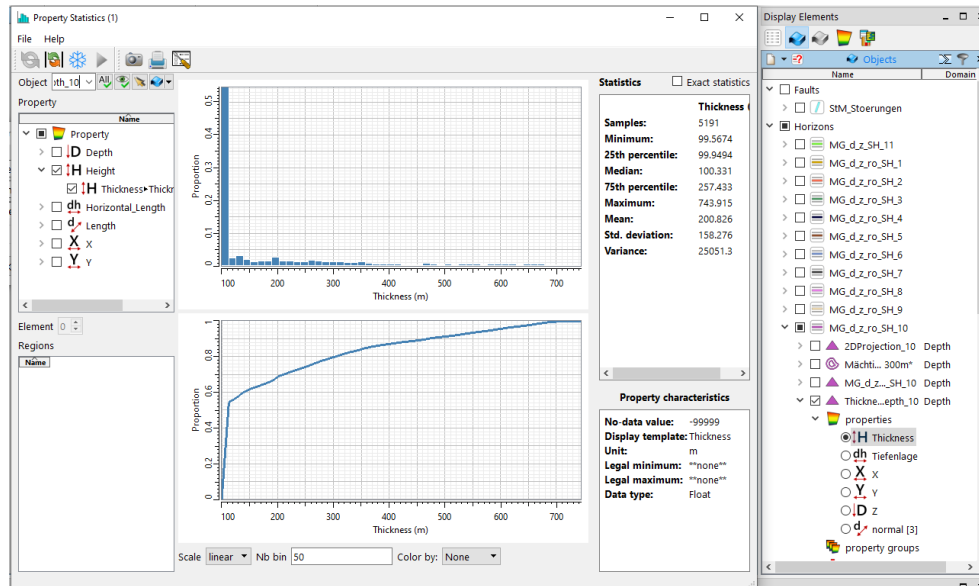


Abbildung 18: Ansicht der Statistik der Eigenschaften der berechneten Mächtigkeit im SKUA-GOCAD Modell

Sollten sich Variationen der Barrieregesteinsmächtigkeit über das Gebiet, welche in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden ergeben, so ist bei einer Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) die günstigere Wertungsgruppe zu wählen. Die Überprüfung der Fläche soll ggf. in SKUA-GOCAD wie nachfolgend beschrieben erfolgen:

Bei „*properties*“ des identifizierten Gebiets den „*Thickness layer*“ anwählen, mit Rechtsklick den „*Style Editor*“ öffnen und unter „*Contours*“ ein neues „*Contour set*“ mit der zu überprüfenden Mächtigkeit anlegen (siehe Abbildung 19).

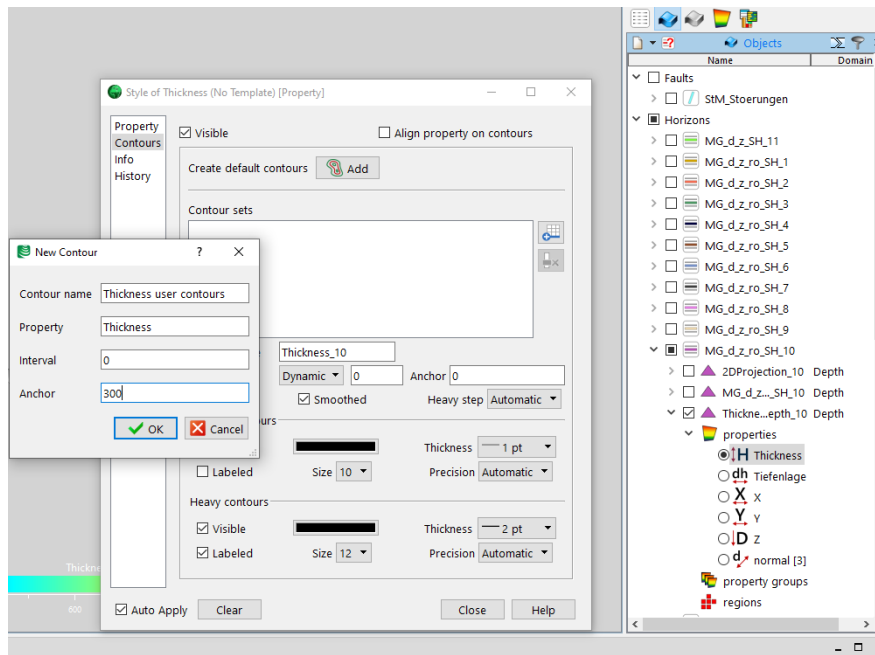


Abbildung 19: Ansicht der Eingabefelder zur Erstellung einer neuen Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell

Um nun die Fläche zu überprüfen muss über „Curve“, „New“ unter „From Surfaces“, „Contours“ eine neue Kurve, welche die Kontur der erstellten Mächtigkeitsverteilung nachzeichnet, erstellt werden (siehe Abbildung 20).

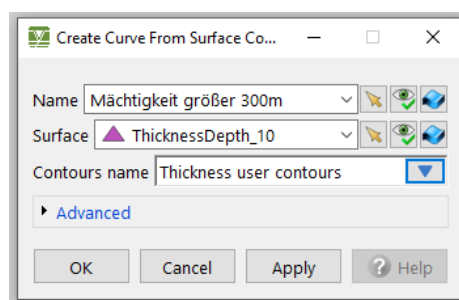


Abbildung 20: Ansicht des Eingabefeldes zur Erstellung einer Kurve basierend auf einer zuvor erstellten Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell

Die genaue Fläche kann dann über „Compute“, „Value“, „Get Map Area“, bei Anwahl der zuvor erzeugten Kurve, angezeigt werden (Einheit über *Klick* auf m^2 änderbar). Diese ist in der Begründung zu dokumentieren.

Sollte die berechnete Fläche bei einer Mächtigkeit von 300 Meter kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von mindestens 200 Meter (siehe Tabelle 24) bestimmt und dokumentiert werden. Ist diese Fläche immer noch kleiner als der einfache Flächenbedarf, so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von mindestens 100 Meter bestimmt und dokumentiert werden.

1.2) Anwendung – stratiformes Steinsalz und Tongestein

Informationen über die Barrieregesteinsmächtigkeit des identifizierten Gebiets (doppelte Barrierenmächtigkeit) sind dem länderübergreifenden Modellierprotokoll sowie den im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen übergebenen Informationen in ArcGIS (den Mächtigkeitswerten, welche als Ergebnis aus der 3D-Modellierung hervorgehen (ASCII-Datensätze) sowie wenn vorhanden, Mächtigkeitsverteilungskarten) zu entnehmen. Das länderübergreifende Modellierprotokoll enthält die Angabe der maximalen Mächtigkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets, die Mächtigkeitsangaben sind auf 10er Meter gerundet. Im Bewertungsmodul ist diese Maximalmächtigkeit zu dokumentieren.

Wie bei der Auswertung von Steinsalz in steiler Lagerung ist auch für die Bewertung der identifizierten Gebiete im stratiformen Steinsalz und Tongestein zu überprüfen, ob sich Variationen der Barrieregesteinsmächtigkeit, die in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden können, über das Gebiet ergeben. Hierfür ist zu ermitteln, ob für die jeweilige minimale Barrieregesteinsmächtigkeit der Wertungsgruppen (siehe Tabelle 24) der einfache Flächenbedarf erfüllt ist (siehe Tabelle 26). Bei der Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) ist für die Bewertung des identifizierten Gebietes die günstigere Wertungsgruppe zu wählen. Liegt die Barrieregesteinsmächtigkeit einer Wertungsgruppe in mehreren Teilflächen eines identifizierten Gebiets vor, so ist der einfache Flächenbedarf für jede Teilfläche zu prüfen.

Diese Überprüfung soll in ArcGIS durchgeführt werden. Wo vorhanden, müssen die Mächtigkeitsangaben aus den ASCII-Datensätzen über das jeweilige identifizierte Gebiet interpoliert und ausgewertet werden. Dies soll mit Hilfe des ArcGIS Werkzeuges IDW („*Inverse Distance Weighted Interpolation*“) geschehen. Die Interpolationsfläche ist dabei auf die Ausdehnung des ASCII-Datensatzes im identifizierten Gebiet zu beschränken („*Features teilen*“).

Sollte die berechnete Fläche bei einer Mächtigkeit von 300 Meter kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von 200 Meter bis einschließlich 300 Meter (siehe Tabelle 24) bestimmt und dokumentiert werden. Ist diese Fläche immer noch kleiner als der einfache Flächenbedarf, so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von 100 Meter bis einschließlich 200 Meter bestimmt und dokumentiert werden. Außerdem ist in der Begründung der Bewertung kurz die Datenverfügbarkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets zu erläutern.

1.3) Anwendung – kristallines Wirtsgestein

Informationen über die Barrieregesteinsmächtigkeit des identifizierten Gebiets (doppelte Barrierenmächtigkeit) sind dem länderübergreifenden Modellierprotokoll sowie den im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen übergebenen Informationen in ArcGIS (den Mächtigkeitswerten, welche als Ergebnis aus der 3D-Modellierung hervorgehen (ASCII-Datensätze) sowie wenn vorhanden, Mächtigkeitsverteilungskarten) zu entnehmen. Das länderübergreifende Modellierprotokoll enthält die Angabe der maximalen Mächtigkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets, die Mächtigkeitsangaben sind auf 10er Meter gerundet. Im Bewertungsmodul ist diese Maximalmächtigkeit zu dokumentieren.

In der Anwendung der Mindestanforderungen auf das kristalline Wirtsgestein wird die Kristallinoberfläche betrachtet. Da das Kristallingestein das Grundgebirge bildet, kann davon ausgegangen werden, dass es sich unterhalb der Kristallinoberfläche weit über 1500 Meter unter Geländeoberkante (GOK) fortsetzt. Es existieren Bereiche in denen das kristalline Wirtsgestein an der Oberfläche aufgeschlossen ist, dementsprechend existieren identifizierte Gebiete mit einer maximalen Mächtigkeit von 1500 Metern.

Wie bei der Auswertung von Steinsalz in steiler Lagerung ist auch für die Bewertung der identifizierten Gebiete im kristallinen Wirtsgestein zu überprüfen, ob sich Variationen der Barrieregesteinsmächtigkeit über das Gebiet, welche in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden können, ergeben. Hierfür ist zu ermitteln, ob für die jeweilige minimale Barrieregesteinsmächtigkeit der Wertungsgruppen (siehe Tabelle 24) der einfache Flächenbedarf erfüllt ist (siehe Tabelle 26). Bei der Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) ist für die Bewertung des identifizierten Gebietes die günstigere Wertungsgruppe zu wählen.

Diese Überprüfung soll in ArcGIS durchgeführt werden. Wo vorhanden, müssen die Mächtigkeitsangaben aus den ASCII-Datensätzen über das jeweilige identifizierte Gebiet interpoliert und ausgewertet werden. Dies soll mit Hilfe des Werkzeuges IDW („*Inverse Distance Weighted Interpolation*“) geschehen. Die Interpolationsfläche ist dabei auf die Ausdehnung des ASCII-Datensatzes im identifizierten Gebiet zu beschränken („*Features teilen*“).

Sollte die berechnete Fläche bei einer Mächtigkeit von 300 Meter kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von 200 Meter bis einschließlich 300 Meter (siehe Tabelle 24) bestimmt und dokumentiert werden. Ist diese Fläche immer noch kleiner als der einfache Flächenbedarf, so soll die Fläche mit einer Mächtigkeit von 100 Meter bis einschließlich 200 Meter bestimmt und dokumentiert werden. Außerdem ist in der Begründung der Bewertung kurz die Datenverfügbarkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets zu erläutern.

Hinweis: die Kristallinoberfläche wird in der Anwendung der Mindestanforderungen in einer Teufe von 1300 Meter abgeschnitten, um die Realisierung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs inklusive bergmännischer Sicherungszone überall im identifizier-

ten Gebiet zu gewährleisten. Die Mächtigkeit des kristallinen Wirtsgestein in einem identifizierten Gebiet ergibt sich dementsprechend durch die Mächtigkeitsangabe aus den ASCII-Daten plus 200 Meter.

2) Indikator – „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“

Wie oben beschrieben wird zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen, dass die Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich in jedem Fall gegeben ist. Der Indikator ist dementsprechend zum jetzigen Zeitpunkt unabhängig vom Wirtsgestein für alle identifizierten Gebiete mit „günstig“ zu bewerten.

7.2.4 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Robustheit und Sicherheitsreserven

7.2.4.1 Beschreibung – Robustheit und Sicherheitsreserven

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Robustheit und Sicherheitsreserven“ wird durch den Indikator „Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]“ beschrieben (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

„Die Teufe der oberen Begrenzung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist der minimale Abstand des äußeren oberen Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereich zur Geländeoberfläche“ (Alfarra et al. 2020, S. 144). Durch die Erfüllung der Mindestanforderung „minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ von 300 Metern unter GOK nach § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG ist für jedes identifizierte Gebiet die Wertungsgruppe „bedingt günstig“ erfüllt. Die Bewertung des Indikators erfolgt dementsprechend in die Wertungsgruppen „günstig“ oder „bedingt günstig“ anhand der in Tabelle 25 aufgeführten Teufen.

Tabelle 25: Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Robustheit und Sicherheitsreserven	Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	> 500	300 – 500	

7.2.4.2 Anwendung – Robustheit und Sicherheitsreserven

Die Anwendung der Mindestanforderungen erfolgt für die verschiedenen Wirtsgesteine aufgrund der Datenlage technisch unterschiedlich. Daher wird die Anwendung des Indikators im Folgenden jeweils für die entsprechenden Wirtsgesteine beschrieben.

1) Anwendung – Steinsalz in steiler Lagerung

Informationen über die Teufe des identifizierten Gebietes sind dem Modellierprotokoll sowie dem SKUA-GOCAD 3D-Modell zu entnehmen. Das Modellierprotokoll enthält eine Kartendarstellung der Tiefenverteilung, die Tiefenlage ist auf 10er Meter gerundet. Im Bewertungsmodul sind die Minimal- und Maximalteufe aus dem Modellierprotokoll zu dokumentieren.

Die Werte können außerdem folgendermaßen im 3D-Modell in SKUA-GOCAD überprüft werden:

Unter „*properties*“ des identifizierten Gebiets den „*Tiefenlage layer*“ anwählen, mit Rechtsklick die „*Property Statistics*“ über „*Compute, Histogram...*“ öffnen (vgl. Abbildung 18).

Sollten sich Variationen der Tiefe über das Gebiet, welche in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden können ergeben, so ist bei einer Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) die günstigere Wertungsgruppe zu wählen. Die Überprüfung der Fläche soll ggf. in SKUA-GOCAD, wie nachfolgend beschrieben, erfolgen:

Bei „*properties*“ des identifizierten Gebiets den „*Tiefenlage layer*“ anwählen, mit Rechtsklick den „*Style Editor*“ öffnen und unter „*Contours*“ ein neues „*Contour set*“ mit der zu überprüfenden Tiefe anlegen (siehe Abbildung 21).

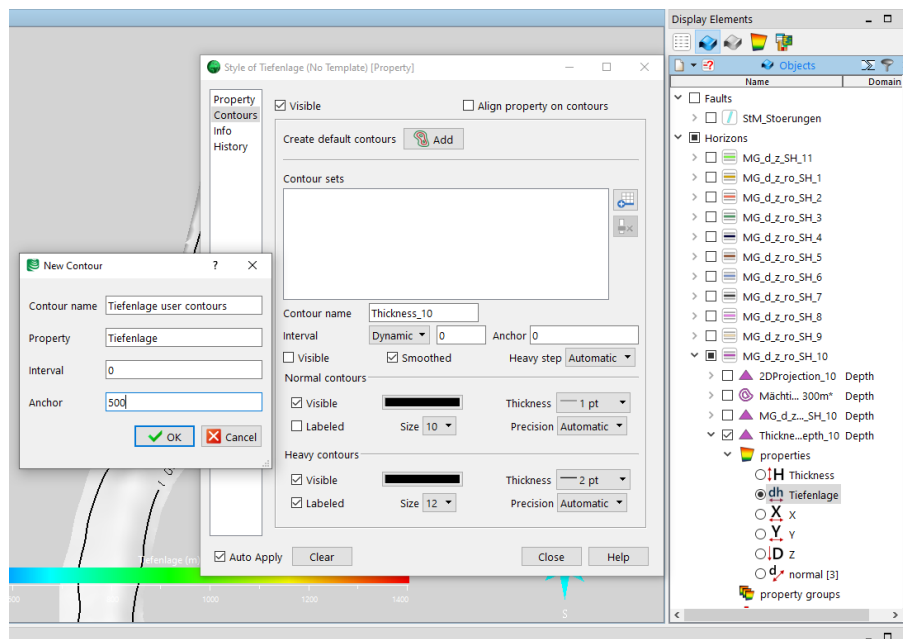


Abbildung 21: Ansicht der Eingabefenster zur Erstellung eines neuen Contour set im SKUA-GOCAD Modell

Um nun die Fläche zu überprüfen, muss über „*Curve*“, „*New*“ unter „*From Surfaces*“, „*Contours*“ eine neue Kurve, welche die Kontur der erstellten Tiefenverteilung nachzeichnet, erstellt werden (siehe Abbildung 22).

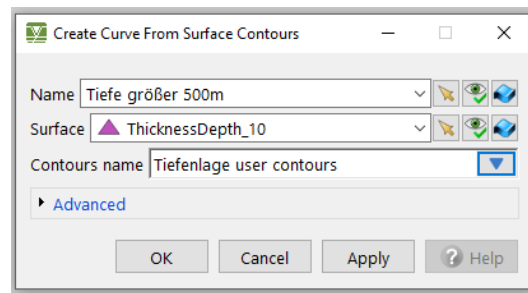


Abbildung 22: Ansicht des Eingabefelds zur Erstellung einer neuen Kurve basierend auf der zuvor erstellten Konturlinie im SKUA-GOCAD Modell

Die genaue Fläche kann dann über „Compute“, „Value“, „Get Map Area“, bei Anwahl der zuvor erzeugten Kurve, angezeigt werden (Einheit über *Klick* auf m^2 änderbar). Diese ist in der Begründung zu dokumentieren.

Sollte die berechnete Fläche bei einer Teufe größer 500 Meter unter GOK kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Teufe zwischen 300 Metern und 500 Metern unter GOK (siehe Tabelle 25) bestimmt und dokumentiert werden.

2) Anwendung – stratiformes Steinsalz und Tongestein

Informationen über die Teufe des identifizierten Gebiets sind dem länderübergreifenden Modellierprotokoll sowie den im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen übergebenen Informationen in ArcGIS (den Werten zur Tiefe, welche als Ergebnis aus der 3D-Modellierung hervorgehen (ASCII-Datensätze) sowie, wenn vorhanden, Tiefenverteilungskarten) zu entnehmen. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Angaben der Tiefe im Modellierprotokoll sowie in den ASCII-Datensätzen rein auf die Basisfläche des jeweiligen identifizierten Gebietes beziehen. Diese sind auf 10er Meter gerundet. Um die minimale Teufe des identifizierten Gebiets zu ermitteln, sind die Angaben zur Mindestmächtigkeit auf die Tiefenangaben zu addieren. Im Bewertungsmodul ist die minimale und maximale Teufe aus den Modellierprotokollen zu dokumentieren.

Wie bei der Auswertung von Steinsalz in steiler Lagerung ist auch für die Bewertung der identifizierten Gebiete im stratiformen Steinsalz und Tongestein zu überprüfen, ob sich Variationen der Teufe über das Gebiet, welche in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden können, ergeben. Hierfür ist zu ermitteln, ob für die jeweilige minimale Teufe der Wertungsgruppen (siehe Tabelle 25) der einfache Flächenbedarf erfüllt ist (siehe Tabelle 26). Bei der Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) ist für die Bewertung des identifizierten Gebietes die günstigere Wertungsgruppe zu wählen. Liegt die minimale Teufe einer Wertungsgruppe in mehreren Teilflächen in einem identifizierten Gebiet vor, so ist der einfache Flächenbedarf für jede Teilfläche zu prüfen.

Diese Überprüfung soll in ArcGIS durchgeführt werden. Wo vorhanden, müssen die Mächtigkeitsangaben aus den ASCII-Datensätzen über das jeweilige identifizierte Gebiet interpoliert und ausgewertet werden. Dies soll mit Hilfe des Werkzeuges IDW („Inverse Distance Weighted Interpolation“) geschehen. Die Interpolationsfläche ist dabei

auf die Ausdehnung des ASCII-Datensatzes im identifizierten Gebiet zu beschränken („*Features teilen*“).

Die Auswertung erfolgt anhand der Teufenangaben der Basisfläche des jeweiligen identifizierten Gebiets. Hierbei ist zu beachten, dass für die Realisierung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs eine Mindestmächtigkeit von 100 Metern notwendig ist (siehe § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG). Daher ist die Überprüfung der Teufe je identifiziertes Gebiet auf die Basisfläche plus 100 Meter Mächtigkeit durchzuführen.

Bei der Bewertung ist zu dokumentieren, für welche Fläche die Wertungsgruppe erfüllt ist. Sollte die berechnete Fläche bei einer Teufe größer 500 Metern unter GOK kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Teufe zwischen 300 Metern und 500 Metern unter GOK (siehe Tabelle 25) bestimmt und dokumentiert werden. Außerdem ist in der Begründung der Bewertung kurz die Datenverfügbarkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets zu erläutern.

3) Anwendung – kristallines Wirtsgestein

Informationen über die Teufe des jeweiligen identifizierten Gebiets sind dem länderübergreifenden Modellierprotokoll sowie den im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen übergebenen Informationen in ArcGIS (den Mächtigkeitswerten, welche als Ergebnis aus der 3D-Modellierung hervorgehen (ASCII-Datensätze) sowie wenn vorhandenen Tiefenverteilungskarten) zu entnehmen. Das länderübergreifende Modellierprotokoll enthält die Angaben der minimalen und maximalen Tiefe des jeweiligen identifizierten Gebiets, die Angaben sind auf 10er Meter gerundet. Im Bewertungsmodul sind diese Angaben zu dokumentieren.

Hierbei ist folgendes zu beachten: Bei der Anwendung der Mindestanforderungen auf das kristalline Wirtsgestein wird die Kristallinoberfläche betrachtet. Da das Kristallingestein das Grundgebirge bildet, kann davon ausgegangen werden, dass es sich unterhalb der Kristallinoberfläche weit über 1500 Meter unter GOK fortsetzt. Es existieren Bereiche, in denen das kristalline Wirtsgestein an der Oberfläche aufgeschlossen ist, dementsprechend existieren minimale Tiefen von 0 Metern. Außerdem wird die Kristallinoberfläche in der Anwendung der Mindestanforderungen in einer Teufe von 1300 Metern unter GOK abgeschnitten, um die Realisierung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereich inklusive bergmännischer Sicherungszone überall im identifizierten Gebiet zu gewährleisten. In den identifizierten Gebieten, bei denen die Angabe der maximalen Teufe im länderübergreifenden Modellierprotokoll 1300 Meter beträgt, muss dementsprechend 200 Meter Tiefe addiert werden.

Wie bei der Auswertung von Steinsalz in steiler Lagerung ist auch für die Bewertung der identifizierten Gebiete im kristallinen Wirtsgestein zu überprüfen, ob sich Variationen der Teufe über das Gebiet, welche in verschiedene Wertungsgruppen eingeordnet werden können, ergeben. Hierfür ist zu ermitteln, ob für die jeweilige minimale Teufe der Wertungsgruppen (siehe Tabelle 25) der einfache Flächenbedarf erfüllt ist (siehe Tabelle 26). Bei der Erfüllung des Flächenbedarfs (siehe Tabelle 26) ist für die Bewertung des identifizierten Gebietes die günstigere Wertungsgruppe zu wählen.

Diese Überprüfung soll in ArcGIS durchgeführt werden. Wo vorhanden, müssen die Mächtigkeitsangaben aus den ASCII-Datensätzen über das jeweilige IG interpoliert und ausgewertet werden. Dies soll mit Hilfe des Werkzeuges IDW („*Inverse Distance Weighted Interpolation*“) geschehen. Die Interpolationsfläche ist dabei auf die Ausdehnung des ASCII-Datensatzes im identifizierten Gebiet zu beschränken („*Features teilen*“).

Bei der Bewertung ist zu dokumentieren, für welche Fläche die Wertungsgruppe erfüllt ist. Sollte die berechnete Fläche bei einer Teufe größer 500 Metern unter GOK kleiner als der einfache Flächenbedarf sein (siehe Tabelle 26), so soll die Fläche mit einer Teufe zwischen 300 Metern und 500 Metern unter GOK (siehe Tabelle 25) bestimmt und dokumentiert werden. Außerdem ist in der Begründung der Bewertung kurz die Datenverfügbarkeit des jeweiligen identifizierten Gebiets zu erläutern.

7.2.5 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

7.2.5.1 Beschreibung – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ wird durch den Indikator „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)“ beschrieben.

Die Bewertung der flächenhaften Ausdehnung ergibt sich aus dem Verhältnis von horizontaler Querschnittsfläche des Barrieregesteins zu der Fläche des Endlagers (Alfarra et al. 2020, S. 144), siehe Abbildung 17. Als Mindestflächenbedarf wird dabei der zur Mindestanforderung „Fläche des Endlagers“ zu § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG in der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 71) angegebener Flächenbedarf verstanden. Dieser Flächenbedarf ist je Wirtsgestein in Tabelle 26 aufgeführt.

Tabelle 26: Flächenbedarfe entsprechend der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 71). Die in der zugrundeliegenden Studie (DBE TEC 2016) berechneten Flächenbedarfe beziehen sich auf eine Teufe von 600 Meter. Der entsprechende Flächenbedarf in geringerer bzw. größerer Teufe ist entsprechend davon abweichend (kleiner/größer).

Wirtsgestein	Flächenbedarf [km ²]
Steinsalz	3
Tongestein	10
Kristallingestein	6

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 27 aufgeführt.

Tabelle 27: Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach

7.2.5.2 Anwendung – Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Fläche des identifizierten Gebiets ist dem jeweiligen länderübergreifenden Modellierprotokoll zu entnehmen, diese ist auf Quadratkilometer gerundet.

In Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG erfolgt keine Spezifizierung zu „Vielfaches des Mindestflächenbedarfs“ bzw. der Zeichen „>>“ und „<<“. Diese werden als „deutlich größer als“ und „deutlich kleiner als“ interpretiert. Die einfachen Flächenbedarfe sind in Tabelle 26 dokumentiert.

Die in DBE TEC (2016) bestimmten Flächenbedarfe wurden für eine Teufe von 600 Metern ermittelt. Mit steigender Teufe ist zu erwarten, dass ein größerer Flächenbedarf besteht. Daher wird davon ausgegangen, dass eine größere Fläche prinzipiell vorteilhaft für die Realisierung eines Endlagers ist. Der „etwa 2-fache Flächenbedarf“ wird als Spannbreite des doppelten bis dreifachen Flächenbedarfes interpretiert. In Tabelle 28 sind die jeweiligen vielfachen flächenhaften Ausdehnungen für die verschiedenen Wirtsgesteine aufgeführt, welche für den Indikator „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)“ zu betrachten sind.

Tabelle 28: Werte der vielfachen flächenhaften Ausdehnungen für die verschiedenen Wirtsgesteine, welche für die Anwendung des Indikators „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)“ (Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) zu verwenden sind

Wirtsgestein	Wertungsgruppe (jeweils in km ²)		
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Steinsalz	größer 9	6 bis 9	3 bis 6
Kristallines Wirtsgestein	größer 18	12 bis 18	6 bis 12
Tongestein	größer 30	20 bis 30	10 bis 20

7.2.6 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Indikator „Potenzialbringer“ bei Tonstein – Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet⁷

7.2.6.1 Beschreibung – Potenzialbringer

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Indikator „Potenzialbringer“ bei Tonstein – Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet“ wird durch den Indikator „Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können“ beschrieben (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

Nach Alfarra et al. (2020, S. 144) ist dieser Indikator eine qualitative Bewertung für Tongestein, ob wasserleitende Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinkörpers existieren, die zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich eine hohe Potenzialdifferenz aufweisen oder aufbauen können. Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 29 aufgeführt.

⁷ Der Indikator bezieht sich laut StandAG auf Tonstein. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Anwendung des Indikators für das gesamte Wirtsgestein Tongestein, sowohl für Tonstein als auch für unverfestigte Tone, durchzuführen ist.

Tabelle 29: *Auszug aus Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können*

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Indikator „Potentialbringer“ bei Tonstein Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/ Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet	Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können	Keine Grundwasserleiter als mögliche Potentialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein/ einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden		Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein/ einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden

Für die Beschreibung der räumlichen Verteilung von Potentialbringern im Verhältnis zum Wirtsgesteinskörper werden in Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG drei verschiedene Begriffe verwendet (siehe Tabelle 29): „in unmittelbarer Nähe“, „in unmittelbarer Nachbarschaft“ und „in Nachbarschaft“. Die verwendeten Begriffe sind identisch zu verstehen. Es wird interpretiert, dass ein unmittelbar an das Wirtsgestein angrenzender Potentialbringer negativ zu bewerten ist.

7.2.6.2 Anwendung – Potenzialbringer

In der jetzigen Phase des Verfahrens liegen in Bezug auf die Bewertung „Potentialbringer“ gebietsspezifischen Daten in den zu betrachtenden Teufen nicht in ausreichendem Umfang vor.

Eine abschließende Bewertung des Indikators „Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Wirtsgesteinkörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet“ für die identifizierten Gebiete im Ton ist zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund fehlender Detailinformationen nicht sinnvoll möglich. Tongesteine als Grundwassergeringleiter liegen im ungestörten Schichtenpaket notwendigerweise zwischen verschiedenen Stockwerken von Grundwasserleitern (Jobmann et al. 2017, S. 35). Es ist allerdings beispielsweise denkbar, dass bei einer sehr mächtigen Tonformation aufgrund der geringen Permeabilitäten

(Hoth et al. 2007), trotz Kontakt des Wirtsgesteins zu einem Grundwasserleiter, dieser Grundwasserleiter nicht als in unmittelbarer Nähe zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegend eingestuft werden muss. Da das lokale hydraulische Potenzial aufgrund der unbekanntem Lage des einschlusswirksamen Gebirgsbereich ebenfalls nicht bekannt ist, wird davon ausgegangen, dass ein einschlusswirksamen Gebirgsbereich ohne Anschluss an Potenzialbringer möglich ist. Dementsprechend werden alle identifizierten Gebiete im Tongestein mit „günstig“ bewertet.

7.2.7 Zusammenfassende Bewertung – Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Für die zusammenfassende Bewertung des Kriteriums ist die räumliche Konstellation der Indikatoren „Barrieremächtigkeit“ und „Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ zueinander zu beachten. Zwar kann in einem identifizierten Gebiet jeder dieser Indikatoren einzeln als beispielsweise „günstig“ bewertet sein, allerdings überschneiden sich die als „günstig“ eingestuftten Regionen innerhalb des Gebietes nicht zwingend. Entsprechend muss für jedes identifizierte Gebiet geprüft werden, ob sich die Flächen, die für die beiden Indikatoren mit derselben Wertungsgruppe bewertet werden, räumlich überschneiden und dabei den einfachen Flächenbedarf (siehe Tabelle 26) erfüllen. Diese Überprüfung ist bei der zusammenfassenden Bewertung jedes identifizierten Gebietes zu berücksichtigen und in der Begründung zu dokumentieren.

Für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung soll diese Überprüfung in SKUA-GOCAD erfolgen, während die Überprüfung für die anderen Wirtsgesteine in ArcGIS durchzuführen ist.

7.3 Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)

7.3.1 Beschreibung des Kriteriums

Das Kriterium erfasst die räumliche Charakterisierung der geologischen Barrieren insbesondere des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereichs. Diese räumliche Charakterisierbarkeit ist laut der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 75) Voraussetzung für eine belastbare Abwägungsentscheidung im Rahmen des Auswahlverfahrens sowie für zuverlässige spätere Sicherheitsbewertungen. Sie soll dementsprechend möglichst zuverlässig gewährleistet werden. Für die Charakterisierbarkeit werden die bewertungsrelevanten Eigenschaften „Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ sowie die „Übertragbarkeit dieser Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ herangezogen.

7.3.2 Anwendung des Kriteriums

Die Indikatoren der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften“ sollen auf den vorgesehenen Endlagerbereich, dabei insbesondere auf den vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich angewendet werden. Die „Übertragbarkeit der Eigenschaften“ nur auf den vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Nach § 2 Nr. 12 StandAG ist der Endlagerbereich als der Gebirgsbereich, in dem ein Endlagersystem realisiert ist oder realisiert werden soll, definiert. Das Endlagersystem ist nach § 2 Nr. 11 StandAG definiert als das den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle durch das Zusammenwirken der verschiedenen Komponenten bewirkende System, das aus dem Endlagerbergwerk, den Barrieren und den das Endlagerbergwerk und die Barrieren umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche besteht, soweit sie zur Sicherheit des Endlagers beitragen.

Da sich Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG „*insbesondere* auf den vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ bezieht und zum jetzigen Zeitpunkt keine detaillierten Informationen zur genauen Zusammensetzung der überlagernden geologischen Schichten vorliegen (siehe Kapitel 7.11 zu Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG), wird die Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG in dieser Phase auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich angewendet. Entsprechend Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) erfolgt die Bewertung des Indikators für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

7.3.3 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

7.3.3.1 Beschreibung – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ wird durch die Indikatoren „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“, „Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften“ und „Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit“ beschrieben (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG).

„Der Indikator „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“ bewertet die Spannbreite bzw. Ermittelbarkeit der für die Abwägung relevanten Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich“ (Alfarra et al. 2020, S. 146). Nach AkEnd (2002) sind Flächen, in denen die Gesteine und deren Eigenschaften großräumig einheitlich oder sehr ähnlich ausgebildet sind, positiv einzuordnen. Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 30 aufgeführt.

Tabelle 30: Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich	gering	deutlich, aber bekannt beziehungsweise zuverlässig erhebbar	erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar

Der Indikator „Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften“ bewertet die räumliche Verteilung der Gesteinstypen und ihrer für die

Abwägung relevanten Eigenschaften im Endlagerbereich, insbesondere dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Die Gesteinstypen und ihre charakteristischen Eigenschaften sollten räumlich möglichst gleichmäßig verteilt sein (AkEnd 2002). Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 31 aufgeführt.

Tabelle 31: Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihre charakteristischen Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierliche, bekannte räumliche Veränderungen	diskontinuierliche, nicht ausreichend genau vorhersagbare räumliche Veränderungen

„Der Indikator „Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit“ bewertet das Vorhandensein von Störungen und deren Abstand zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich sowie das Vorhandensein von Flexuren und Falten“ (Alfarra et al. 2020, S. 147). Der Gesteinsverband des Endlagerbereiches und des einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll eine möglichst geringe tektonische Überprägung aufweisen. Nach der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 75) wird das Ausmaß der Überprägung abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen unter Berücksichtigung von Bruch- und Faltentektonik. Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 32 aufgeführt.

Tabelle 32: Auszug aus Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG – Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihre charakteristischen Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit	Weitgehend ungestört (Störungen im Abstand > 3 km vom Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs), flache Lagerung	wenig gestört (weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km vom Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs), Flexuren	Gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), gefaltet

7.3.3.2 Anwendung – Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Die Anwendung der Indikatoren „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“ und „Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften“ soll jeweils für den Gesteinstyp erfolgen. Wie in Kapitel 7.2.2 dargelegt erfolgt zum jetzigen Zeitpunkt die Anwendung auf das Wirtsgestein.

Der Gesetzgeber lässt offen, welche Eigenschaften konkret bei der Bewertung der ersten beiden Indikatoren betrachtet werden sollen. Beushausen et al. (2020, S. 143 ff.) geht davon aus, dass sämtliche relevanten Eigenschaften im StandAG erfasst sind und durch die Mindestanforderungen bzw. Abwägungskriterien abgebildet werden und somit für diese Indikatoren erneut zu betrachten sind.

Zum jetzigen Zeitpunkt liegen jedoch detaillierte Informationen über diese Eigenschaften, deren Variationsbreite sowie räumliche Verteilung nicht in ausreichendem Umfang vor. Jedoch können quantitative Aussagen für die identifizierten Gebiete auf Basis von Erfahrungswerten, der Entstehungsgeschichte der Wirtsgesteinsformationen (Ablagerung sowie Diagenese) und Analogieschlüssen aus Feld- und Laboruntersuchungen getroffen werden. Aufgrund der Entstehungsgeschichte der verschiedenen Wirtsgesteine unterscheidet sich die Anwendung der bewertungsrelevanten Eigenschaft und wird daher im Folgenden für die verschiedenen Wirtsgesteine beschrieben.

1) Anwendung – Steinsalz in steiler Lagerung

Das für die Endlagerung in Frage kommende Wirtsgestein der betrachteten steil stehenden Salzstrukturen Norddeutschlands ist Steinsalz. Maßgeblichen Anteil haben die mächtigen Steinsalzabschnitte des Zechsteins. Jedoch sind bereichsweise auch noch weitere Steinsalzformationen beteiligt. Aufgrund ihrer zum Teil erheblichen Ausdehnung sind insbesondere die vor allem in Nordwestdeutschland verbreiteten sogenannten „Doppelsalinare“ ebenfalls zu bewerten, die neben Zechstein auch Salzgesteine des Oberrotliegenden enthalten. Die Datenlage ist für die Zechsteinsalinare (Erfahrungen aus geologischer Forschung, Bergbau und Kohlenwasserstoff-Exploration) wesentlich besser als für die Doppelsalinare.

Für die Anlage eines Endlagers werden allgemein die Zechsteinsalinare ohne Anteil an Rotliegend als die potenziell geeignetsten Salzlager angesehen (Kockel & Krull 1995, S. 30). Die Eignung der Oberrotliegendsalinare ist dem hingegen umstritten, da diese primär einen höheren Anteil an Tonmitteln aufweisen. Diese bildeten sich während der Diapirbildung aufgrund der halotektonischen Beanspruchung als Salz-Ton-Gemisch. Der Tonanteil wirkt sich einerseits positiv auf die Sorptionseigenschaften aus, andererseits werden jedoch die petrophysikalischen Eigenschaften, wie Festigkeit, Konvergenz und thermische Belastbarkeit (Kockel & Krull 1995, S. 30) verringert. Eine abschließende Bewertung diesbezüglich steht noch aus und diese Aspekte wurden nicht zur Bewertung dieses Kriteriums herangezogen. Im Folgenden wird die Bewertungsgrundlage für die verschiedenen Salinare steil stehender Strukturen näher erläutert.

Die Salze des Oberrotliegenden sind primär vor allem in der oberen Havel- und in der Elbe-Subgruppe verbreitet (Frisch & Kockel 2004, S. 32, Tabelle 9). Es werden bis zu 15 einzelne Steinsalz-Horizonte von unterschiedlicher Mächtigkeit unterschieden, die durch Tonsteine und Sandsteine voneinander getrennt sind. Diese Steinsalzlager befinden sich meist in großen Tiefen und weisen geringe Mächtigkeiten auf, wodurch sie in ihrem primären Schichtverband nicht für ein Endlager geeignet sind (Kockel & Krull 1995, S. 30). Durch die spätere Diapirbildung wurden die primären Mächtigkeiten und Lagerungsverhältnisse der Steinsalz-Tonstein-Wechselfolgen der Elbe-Subgruppe häufig gestört und verändert und es kam zur Entstehung der Doppelsalinare (Reinhold et al. 2014, S. 25). Doppelsalinare beschreiben Diapire, welche durch zwei salinare Schichtenfolgen verschiedenen Alters (Rotliegend und Zechstein) aufgebaut sind (Frisch & Kockel 2004, S. 84). Den Kern der Doppelsalinare bilden die Rotliegendsalinare, welche als „Haselgebirge“ aufgestiegen sind (Kockel & Krull 1995, S. 30). Das Haselgebirge wird als ungeschichtetes Salz-Ton-Gemisch (Kockel & Krull 1995, S. 30), das als Fluidal-Tektonit gedeutet (Krull et al. 2004, S. 31). In Folge der Diapirbildung wurden die Mächtigkeiten der Rotliegend-Steinsalzlager deutlich sekundär erhöht. Diese sekundären Mächtigkeiten können in den Diapiren mehrere 1000 Meter erreichen (zitiert in Reinhold et al. 2014, S. 25).

Die primären Ablagerungen des Zechsteins sind durch eine ausgeprägte Zyklizität gekennzeichnet (Frisch & Kockel 2004, S. 43). Insgesamt werden sieben Zyklen (Z1 – Z7)

unterschieden (Frisch & Kockel 2004, S. 45, Tabelle 11). Diese Zyklen bestehen aus Abfolgen von Tonen, Karbonaten, Sulfaten und Chloriden (Kockel & Krull 1995, S. 30). Steinsalzlager sind in allen sieben Zyklen entwickelt und zeigen unterschiedliche Mächtigkeiten und Verbreitungen (Frisch & Kockel 2004). Die mächtigsten Steinsalzaablagerungen finden sich in dem sogenannten Staßfurtsteinsalz (Z2-Hauptsalz) im Staßfurt-Zyklus (Z2), aus dem auch die Hauptmasse des Salzes in den Zechsteinsalzstöcken stammt (Frisch & Kockel 2004, S. 84). Die primären Mächtigkeiten werden bis auf größer als 600 Meter geschätzt (Kockel & Krull 1995, S. 60). Durch die Halokinese erhöhten sie sich bis auf über Tausend Meter, wie z. B. am Staßfurt Steinsalz in Mecklenburg-Vorpommern erkennbar, welches eine erbohrte Mächtigkeit von 1871,9 Meter aufweist (Zagora & Zagora 2004, S. 135).

Da die lithologischen Eigenschaften von Zechsteinsalinaren und Oberrotliegendesalinaren stark variieren, wird dieses Kriterium für Oberrotliegendesalinare und Zechsteinsalinare unterschiedlich bewertet. Zum jetzigen Zeitpunkt im Standortsuchverfahren wird angenommen, dass aus fachlicher Perspektive eine möglichst günstige geologische Situation vorliegen *kann*. Daher wird für die Bewertung der Zechsteinsalinare speziell die Staßfurt-Formation betrachtet, während für die Bewertung der Rotliegendesalinare die Oberrotliegendesalinare, welche den Kern der Doppelsalinare bilden, betrachtet werden.

Wie oben beschrieben enthalten Doppelsalinare sowohl einen Anteil an Oberrotliegendesalinaren als auch an Zechsteinsalinaren. Dieser Anteil an Zechsteinsalz kann sich am Rande der Doppelsalinarstruktur befinden und ist nicht eindeutig quantifizierbar. Daher wird eine pauschale Unterscheidung zwischen Doppelsalinaren und Zechsteinsalinaren nicht angewendet. Dies verhindert, dass potenziell geeignete Zechstein-Bereiche in Doppelsalinaren pauschal ausgeschlossen werden.

Im Rahmen des „InSpEE-DS“ Projektes der BGR wurden verschiedene Internbautypen für Doppelsalinare klassifiziert (Abbildung 23). Internbautyp 2 ist charakterisiert durch Zechsteinausdehnung über der gesamten Strukturbreite, unterlagert von Oberrotliegendem im Kern an der Strukturbasis. Bei den Internbautypen 1 und 3 durchörtert das Oberrotliegend den Zechstein bis zum Top der Struktur, sodass sich dieser lediglich entlang der Flanken der Doppelsalinarstruktur erstreckt. Da Internbautyp 2 einen mächtigen Bereich an Zechsteinsalinaren am Top aufweist ist dieser Internbautyp gleich mit reinen Zechsteinsalinaren gleich zu bewerten.

Daraus folgt für die Anwendung des Kriteriums eine unterschiedliche Bewertung zwischen Zechsteinsalinaren ohne Rotliegend Anteil/Doppelsalinaren mit Internbautyp 2 und Doppelsalinaren mit Internbautyp 1 oder 3.

Für die Anwendung der Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG wurde die vollständige Karte der Klassifizierung durch eine Datenabfrage bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) angefragt (Datenlieferung vom 17.07.2020 mit Geschäftszeichen: SG02101/17-3/15-2020#20). Ein Auszug der Karte ist in Fleig & Röhling (2019) zu sehen, die detaillierte Karte ist der Datenlieferung zu entnehmen. Es wird jedem Salzstock der entsprechende Internbautyp nach der InSpEE-DS Klassifizierung zugewiesen.

Im Falle, dass ein identifiziertes Gebiet verschiedene Internbautypen, einschließlich Internbautyp 2, aufweist, wird der Internbautyp 2 zugewiesen. Dieses Vorgehen vermeidet eine potentielle Unterschätzung des Salzstockes. Darüber hinaus werden Doppelsalinare, welche außerhalb der Karte liegen oder bei welchen keine eindeutige Zuordnung möglich ist Internbautyp 2 zugewiesen, um ebenfalls eine potentielle Unterschätzung zu vermeiden.

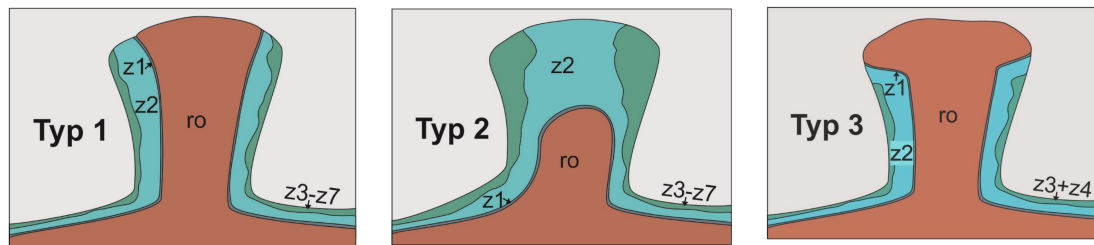


Abbildung 23: Klassifizierung der Doppelsalinare nach verschiedenen Internbautypen (Fleig & Röhling 2019)

Im Rahmen des „InSpEE“ Projektes (Pollok et al. 2016) wurden ebenfalls Internbautypen für die Zechsteinstrukturen ohne Anteil an Rotliegend entwickelt (Abbildung 24). Diese Typisierung unterscheidet die Zechsteinstrukturen nach ihrem Entwicklungsstadium und der tektonischen Beeinflussung. Da für die Doppelsalinare die Bewertungen abhängig von den Internbautypen durchgeführt wird, liegt es nahe, die Bewertung der Zechsteinstrukturen ohne Rotliegend Anteile ebenfalls nach Internbautypen zu unterscheiden.

In stark tektonisch überprägte Salzstrukturen kann die Wahrscheinlichkeit, mit der ein homogener, ausreichend großer Bereich an reinem Steinsalz anzutreffen ist, als geringer angesehen werden, als in Salzstrukturen, welche keine oder wenig tektonische Überprägung erfahren haben. Dennoch ist es möglich, dass auch in einer tektonisch überprägten Salzstruktur, ein ausreichend großer und homogener Bereich an Steinsalz existiert. Darüber hinaus ist es möglich, dass ein Salzstock sowohl Anzeichen starker und weniger starker tektonischer Überprägung miteinschließt. Da diese Fälle nicht ausgeschlossen werden können, wird zum jetzigen Zeitpunkt nicht nach den verschiedenen Internbautypen der Zechsteinstrukturen unterschieden. Für belastbare Aussagen zum Internbau von steilstehenden Salzstrukturen sind detaillierte und gebietspezifische Untersuchungen nötig.

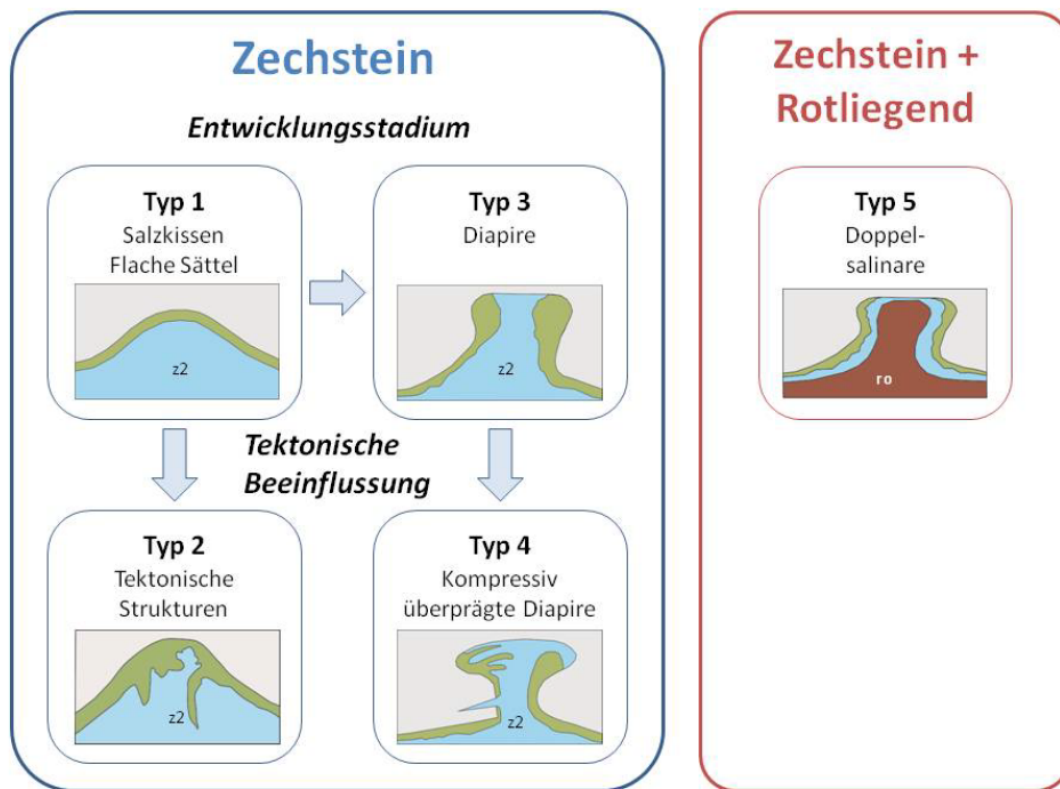


Abbildung 24: Klassifizierung der Salinarstrukturen nach Internbautypen (Pollok et al. 2016)

Wie oben ausgeführt, erfolgt daher die Bewertung der identifizierten Gebiete im Steinsalz in steiler Lagerung für alle drei Indikatoren zur bewertungsrelevanten Eigenschaft „Ermittelbarkeit der relevanten Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ anhand der Internbautyp nach der InSpEE-DS Klassifizierung.

Für den Indikator „Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit“ gibt es für die identifizierten Gebiete keine unterschiedliche Bewertung. Dieser Indikator wird auf Basis der Salzstockentstehung angewendet. Als eine Ursache der Salzstockentstehung wird Bewegung im Untergrund beschrieben, welche am Sockel der Salzstruktur ausgelöst wird. Diese Bewegungen sind von orthotektonischen Vorgängen gesteuert, welche auf allgemeine tensionale Rifting Prozesse zurückzuführen sind (Frisch & Kockel 2004, S. 90). Das Salz puffert die Bewegungen ab (Kockel & Krull 1995, S. 11; Frisch & Kockel 2004, S. 269). Der Salzaufstieg selbst verursacht tektonische Bewegungen im Scheitel und im seitlichen Umfeld. Beim Salzaufstieg kommt es zur intensiven Verfaltung (Fließfalten) der beteiligten Gesteine (Kockel & Krull 1995, S. 11, 14). Seitliche Kompression verursacht weitere Verfaltungen und Auspressungen (Pollok et al. 2016, S. 110).

Das Innere der Salzstrukturen ist schließlich durch einen während des Salzaufstieges entstandenen Fließfaltenbau geprägt, der von innen nach außen hin intensiver und kom-

plizierter wird. Dabei weisen größere Salzstöcke im Allgemeinen einen weniger komplizierten Innenaufbau auf als kleinere (Jaritz 1983, S. 13). Durch die Duktilität und das Fließvermögen des Steinsalzes setzt sich äußere Tektonik jedoch kaum in das Innere der Salzstruktur fort (Kockel & Krull 1995, S. 11). Auch Klüfte und Risse schließen sich aufgrund der Kriechfähigkeit von Steinsalz schnell (Brasser et al. 2008, S. 46). Anders als bei kompetenten Gesteinsverbänden findet eine interne Zerblockung der Salzstrukturen nicht statt. Zerblockung oder Boudinage betrifft nur die kompetenten Anteile innerhalb einer Salzformation, wie die Anhydritschichten (Brasser et al. 2014, S. 25).

Steilstehende Steinsalzstrukturen weisen duktile Verfaltungen auf, jedoch ist zu erwarten, dass diese Strukturen nicht gestört und nicht zerblockt sind. Daher werden alle steilstehenden Salzstrukturen für das Ausmaß der tektonischen Überprägung mit der Wertungsgruppe „bedingt günstig“ bewertet.

2) Anwendung – stratiformes Steinsalz und Tongestein

Für die identifizierten Gebiete in stratiformem Steinsalz und Tongestein sollen auf Basis von Erfahrungswerten und Analogieschlüssen aus Feld- und Laboruntersuchungen, welche in der Literatur zur Verfügung stehen, erste Einschätzungen der Indikatoren vorgenommen werden. Dafür sind die geologischen Übersichten und Zusammenfassungen aus den bundeslandspezifischen und länderübergreifenden Modellierprotokollen heranzuziehen und ggf. mit weiteren Informationen aus der Literatur zu ergänzen. Diese Einschätzungen sind begründet im Bewertungsmodul zu dokumentieren.

Hinweis: Diese Informationen sind außerdem für die Bewertung des Indikators „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“ der Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG heranzuziehen. Es empfiehlt sich daher, diese Punkte gemeinsam zu bearbeiten und ggf. eine Begründung zu verfassen, welche für mehrere Indikatoren herangezogen werden kann.

3) Anwendung – kristallines Wirtsgestein

Da zum jetzigen Zeitpunkt in der Anwendung der Mindestanforderungen keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Kritstallingesteinstypen, welche als kristallines Wirtsgestein aufgefasst werden, vorgenommen wird, kann die Anwendung der Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG für identifizierte Gebiete im kristallinen Wirtsgestein nur überschlägig erfolgen. Dementsprechend soll die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand des Referenzdatensatz erfolgen (siehe BGE 2020b).

7.3.4 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

7.3.4.1 Beschreibung – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ wird durch den Indikator „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“ beschrieben (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Unter der Lithofazies (bzw. Gesteinsfazies) werden die Gesteinszusammensetzung, also die Gesteinskomponenten (qualitative und quantitative Zusammensetzung) und das Gesteinsgefüge (Größe, Gestalt und räumliche Anordnung der Gemengteile) sowie die Matrix- und/oder Zementausbildung zusammengefasst. „Hinzu kommen Aussagen zur Alteration und Diagenese des Gesteins sowie zu strukturellen Merkmalen“ (Alfarra et al. 2020, S. 148).

Dementsprechend sollen alle Eigenschaften eines Gesteins betrachtet werden (Alfarra et al. 2020, S. 148). „Der Indikator bewertet den Grad der Homogenität und die räumliche Charakterisierbarkeit dieser Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ (Alfarra et al. 2020, S. 148), wie in Tabelle 33 dargestellt. Dabei sind identifizierte Gebiete, in denen die Gesteine und deren Eigenschaften großräumig einheitlich oder sehr ähnlich ausgebildet sind, positiv einzuordnen (AkEnd 2002).

Tabelle 33: Auszug aus StandAG Anlage 3 – Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd

7.3.4.2 Anwendung – Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Zum jetzigen Zeitpunkt liegen keine detaillierten Fazies-Modelle der Wirtsgesteine für die jeweiligen identifizierten Gebiete vor. Um dennoch eine Bewertung vorzunehmen, soll diese vereinfacht wie in Kapitel 7.3.3 anhand von Erfahrungswerten, Analogieschlüssen sowie der Entstehungsgeschichte (Ablagerung und Diagenese) für die ver-

schiedenen Wirtsgesteinsformationen durchgeführt werden. Die so ausgearbeiteten Bewertungen der identifizierten Gebiete sind begründet im Bewertungsmodul zu dokumentieren.

7.4 Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)

7.4.1 Beschreibung des Kriteriums

Das Kriterium „langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse“ bewertet die zeitliche Prognostizierbarkeit der geologischen Gegebenheiten (BT-Drs 18/11398, S. 75). Es dient der Bewertung der erreichbaren Qualität des Einschlusses sowie der zu erwartenden Robustheit des Nachweises (§ 24 Abs. 3 StandAG). Als Indikatoren werden die Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, „flächenhafte beziehungsweise räumliche Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ herangezogen (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Für eine Einschätzung der sicherheitsrelevanten Langzeitveränderungen soll als Bewertungsgrundlage die Änderung der geologischen Verhältnisse der Vergangenheit anhand dieser Betrachtungsmerkmale herangezogen werden. Stabilität über eine möglichst lange Zeitspanne wird dabei als „günstig“ angesehen. Für die Bewertung ist der Zeitraum der letzten 10 Millionen Jahre (Holozän bis Miozän, Tortonium) zu betrachten.

7.4.2 Anwendung des Kriteriums

In Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG erfolgt keine Einteilung in bewertungsrelevante Eigenschaften. Die zu bewertenden Indikatoren beziehen sich auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Wie in Anwendungsprinzip 7 (Kapitel 2) beschrieben, erfolgt daher die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Es wird nicht bewertet, ob eine Veränderung positive oder negative Auswirkungen hat, sondern lediglich der Fakt, dass eine Änderung stattgefunden hat. Des Weiteren lässt das StandAG offen wie der Begriff „wesentlich“ im Hinblick auf diese Änderung zu interpretieren ist (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Hierzu stellt Beushausen et al. (2020, S. 19) folgende Hypothese auf:

„Es wird vorgeschlagen, dass eine wesentliche Änderung entsprechend Anlage 4 dann gegeben ist, wenn Prozesse in der Vergangenheit die zu betrachtenden Merkmale so verändert haben, dass diese nicht mehr als günstig prognostizierbar sind. Die Prozesse dürfen nicht so stark sein, dass sich die jeweilige Einstufung in die Wertungsgruppe ändert.“

Dieser Hypothese wird zum jetzigen Zeitpunkt gefolgt. Es liegen jedoch im Moment keine detaillierten Informationen über die Änderungen der in den Indikatoren angegebenen Betrachtungsmerkmale über die Zeit vor. Um dennoch eine erste Bewertung vorzunehmen, sollen quantitative Aussagen für die identifizierten Gebiete auf Basis von Erfahrungswerten, der Entstehungsgeschichte der Wirtsgesteinsformationen (Ablagerung sowie Diagenese) und Analogieschlüssen aus Feld- und Laboruntersuchungen getroffen werden. Außerdem sollen mögliche Einflussfaktoren wie z. B. Tiefenerosion aufgrund

quartärzeitlicher Rinnen diskutiert werden. Aufgrund der Entstehungsgeschichte der verschiedenen Wirtsgesteine unterscheidet sich die Anwendung der bewertungsrelevanten Eigenschaft und wird daher im Folgenden für die verschiedenen Wirtsgesteine beschrieben.

1) Anwendung – Steinsalz in steiler Lagerung

Für die Bewertung der identifizierten Gebiete im Steinsalz in steiler Lagerung ist der Referenzdatensatz heranzuziehen (siehe BGE 2020b).

2) Anwendung – stratiformes Steinsalz und Tongestein

Für die identifizierten Gebiete in stratiformem Steinsalz und Tongestein sollen die Bewertungen der identifizierten Gebiete auf Basis der geologischen Übersichten und Zusammenfassungen aus den bundeslandspezifischen und länderübergreifenden Modellerprotokollen vorgenommen werden, diese sind ggf. mit weiteren Informationen aus der Literatur zu ergänzen. Die Bewertungen der identifizierten Gebiete sind begründet im Bewertungsmodul zu dokumentieren.

3) Anwendung – kristallines Wirtsgestein

Für die Bewertung der identifizierten Gebiete im kristallinen Wirtsgestein ist der Referenzdatensatz heranzuziehen (siehe BGE 2020b).

7.4.3 Indikator – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

7.4.3.1 Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Mit dem Indikator „Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat“, wird die langfristige Stabilität der vertikalen Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bewertet (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Wie in Anwendungsprinzip 7 (Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt daher die Bewertung des Indikators für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird. Dementsprechend ist die für diesen Indikator zu betrachtende Mächtigkeit mit der Mächtigkeit des Indikators „Barrierenmächtigkeit“ nach Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG identisch (siehe Kapitel 7.2.3).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen wie folgt:

- „1. als günstig, wenn seit mehr als zehn Millionen Jahren keine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals aufgetreten ist,
2. als bedingt günstig, wenn seit mehr als einer Million, aber weniger als zehn Millionen Jahren keine solche Änderung aufgetreten ist, und
3. als ungünstig, wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.“

7.4.3.2 Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Siehe Kapitel 7.4.2.

7.4.4 Indikator – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

7.4.4.1 Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Der Indikator „Ausdehnung“ bewertet die langfristige Stabilität der flächenhaften bzw. räumlichen Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Die langfristige Stabilität der vertikalen Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs wird über den Indikator „Zeitspanne, über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert hat“ bewertet. Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass die vertikale Ausdehnung berücksichtigt ist und für den Indikator „Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat“ nur die laterale (flächenhafte) Ausdehnung zu betrachten ist (vgl. Kapitel 7.2.5). Wie in Anwendungsprinzip 7 (Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt daher die Bewertung des Indikators für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen wie folgt:

- „1. als günstig, wenn seit mehr als zehn Millionen Jahren keine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals aufgetreten ist,
2. als bedingt günstig, wenn seit mehr als einer Million, aber weniger als zehn Millionen Jahren keine solche Änderung aufgetreten ist, und
3. als ungünstig, wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.“

7.4.4.2 Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Siehe Kapitel 7.4.2.

7.4.5 Indikator – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

7.4.5.1 Beschreibung – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Der Indikator „Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat“ bewertet die Veränderung der Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich über die Zeit (Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Wie in Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt zum jetzigen Zeitpunkt die Bewertung des Indikators für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird. Eine genaue Erläuterung der Gebirgsdurchlässigkeit ist im Kapitel 7.1.3 gegeben.

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG angegebenen Wertungsgruppen wie folgt:

- „1. als günstig, wenn seit mehr als zehn Millionen Jahren keine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals aufgetreten ist,
2. als bedingt günstig, wenn seit mehr als einer Million, aber weniger als zehn Millionen Jahren keine solche Änderung aufgetreten ist, und
3. als ungünstig, wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.“

7.4.5.2 Anwendung – Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht wesentlich verändert hat

Siehe Kapitel 7.4.2.

7.5 Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften (Anlage 5 (zu § 24 Abs. 4) StandAG)

7.5.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften“ erfasst günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen, welche für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes notwendig sind (BT-Drs 18/11398, S. 75). Hierdurch soll sichergestellt werden, dass im anstehenden Gebirge ein standsicheres Grubengebäude ohne nachhaltige Schädigung des umgebenden Gebirges und somit der Barrierenintegrität mit möglichst geringem Aufwand an technischen Sicherungsmitteln errichtet werden kann. Für die Bewertung der gebirgsmechanischen Eigenschaften werden die Indikatoren „das Gebirge kann als geomechanisches Haupttragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau, abgesehen von einer Kontursicherung, bei verträglichen Deformationen aufnehmen“ und „um Endlagerhohlräume sind keine mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone zu erwarten“ herangezogen. Folglich weist ein Standort günstige gebirgsmechanische Eigenschaften auf, wenn das Gebirge als geomechanisches Haupttragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau, abgesehen von einer Kontursicherung, bei verträglichen Deformationen aufnehmen kann und durch die Beanspruchung möglichst keine Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone entstehen.

Nach Alfarra et al. (2020, S. 153) wird mit dem Indikator „um Endlagerhohlräume sind keine mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone zu erwarten“ die Dilatanzfestigkeiten (Zug- und Scherfestigkeit) des Wirtsgesteins als Maß für die Neigung zur Bildung von Wegsamkeiten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bewertet. Unter Sekundärpermeabilität „ist dabei eine Erhöhung der ursprünglichen Permeabilität der barrierewirksamen Gesteine im konturnahen Bereich der Endlagerhohlräume infolge der Beanspruchung durch Auffahrung und Betrieb des Endlagers“ zu verstehen (Beushausen et al. 2020, S. 21).

7.5.2 Anwendung des Kriteriums

Im StandAG sind zur Anlage 5 keine Wertungsgruppen für die Indikatoren angegeben, daher erfolgt eine Bewertung entweder als „günstig“ oder „nicht günstig“ (siehe Anwendungsprinzip 5, Kapitel 2). Die zu bewertenden Indikatoren beziehen sich auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Wie im Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt daher die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird. Es ist außerdem zu erwarten, dass detaillierte Daten zur Bewertung des Kriteriums zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorliegen. Für eine genaue Betrachtung sind numerische Modellrechnungen basierend auf dem jeweiligen Endlagerkonzept notwendig. Des Weiteren müssen detaillierte Kenntnisse über die Materialeigenschaften der barrierewirksamen Gesteine und ein

Konzept zur Auffahrung des Endlagers herangezogen werden. Da diese Informationen erst im weiteren Verlauf des Verfahrens vorliegen werden, kann im Moment nur eine grobe Einschätzung des Kriteriums erfolgen.

Alfarra et al. (2020, S. 152 f.) und Beushausen et al. (2020, S. 20) empfehlen hierfür die Verwendung der durch den AkEnd (2002) beauftragten Studie des grundsätzlichen Tragverhaltens sowie der Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten verschiedener Gebirgsarten als Reaktion auf endlagerrelevante Einwirkungen. Das Ergebnis der zweiteiligen Studie (Lux et al. 2002; Lux & Eberth 2002b) ist eine gesteinsart- und gebirgsklassenbezogene Aussage, bis in welche Teufe jeweils „günstige gebirgsmechanische Verhältnisse“ zu erwarten sind. Die Studie kommt außerdem zu dem Ergebnis, dass die zwei o. g. Indikatoren zu einem übergeordneten Kriterium zusammengefasst werden können, „da bei hinreichender Tragfähigkeit des Gebirges (= Haupttragelement) auch nur in begrenztem Maß Konturentfestigungen und Konturauflockerungen zu erwarten sind, so dass bei Verzicht auf einen Ausbau eine hinreichende Standfestigkeit einerseits und die nur begrenzte Ausbildung von dilatanten Gebirgsbereichen (und damit Sekundärwegsamkeiten) andererseits als Trageigenschaften des Gebirges in enger Beziehung zueinander stehen.“.

Wie in Alfarra et al. (2020, S. 152 f.) ausgeführt, ist die Ausprägung gebirgsmechanischer Eigenschaften stark abhängig vom Wirtsgesteinstyp, welche sehr unterschiedliches Materialverhalten aufweisen. So sind Kristallingesteine durch ein elastisch-sprödes, Tongesteine durch ein elastisch-(visko)plastisches und Steinsalz durch ein elastisch-viskoses Materialverhalten charakterisiert. Entsprechend sind von Lux et al. (2002) und Lux & Eberth (2002b) zwei Diagramme als Hilfe für die Bewertung für unterschiedliche Materialverhalten entwickelt worden (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26).

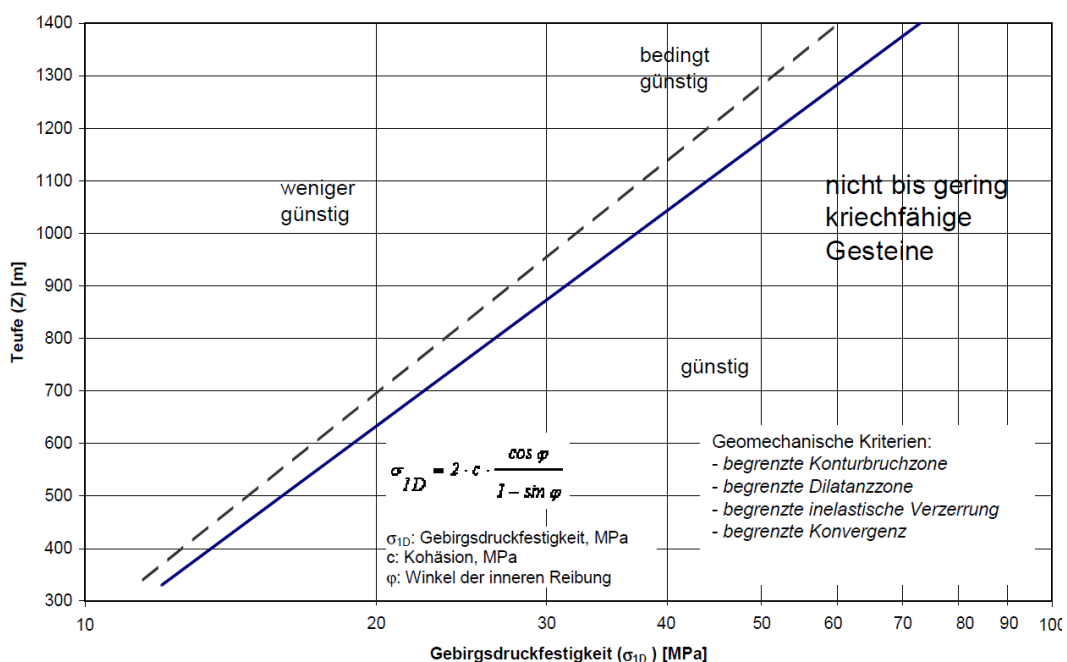


Abbildung 25: Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten (Lux et al. 2002)

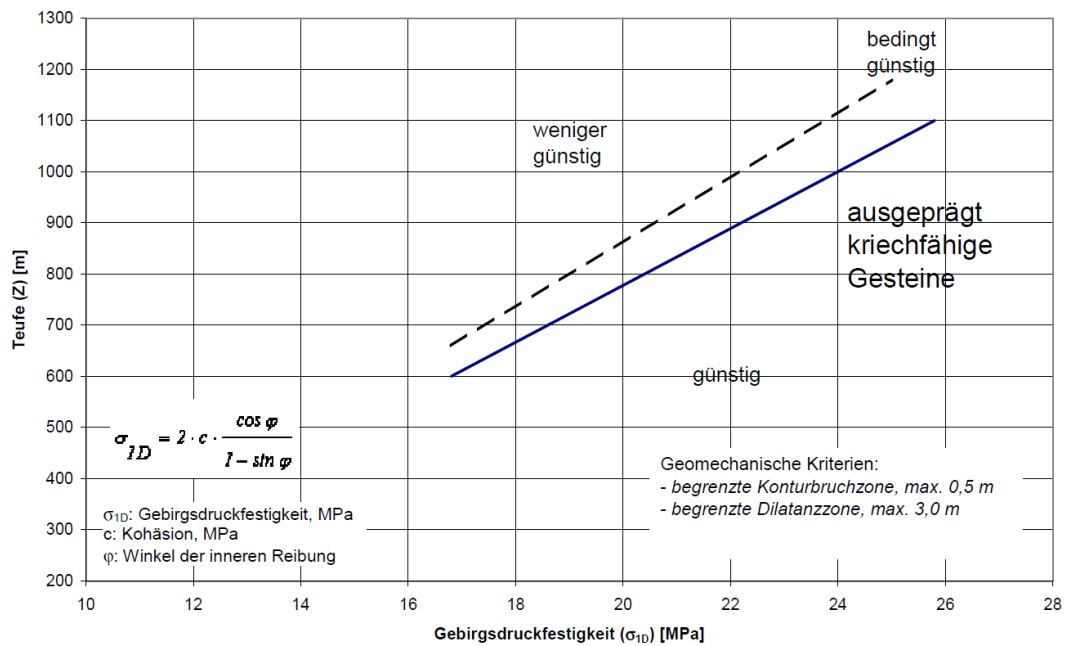


Abbildung 26: Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten (Lux & Eberth 2002b)

Als Hilfestellung zur Bewertung dient das in AkEnd (2002) erstellte Schema, siehe Tabelle 34.

Tabelle 34: Wertungsgruppen der zulässigen Teufenlage, entnommen aus AkEnd (2002)

Zulässige Teufenlage	günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Wertungsgruppe	Die zu bewertende Teufe liegt unterhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit (durchgezogen).	Die zu bewertende Teufe liegt mäßig (< 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit (gestrichelt).	Die zu bewertende Teufe liegt deutlich (> 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.

Wie in Alfarrá et al. (2020, S. 152 f.) und Beushausen et al. (2020, S. 20) empfohlen, kann so eine erste wirtsgesteinsspezifische Einschätzung für die Bewertung des Kriteriums in Abhängigkeit von der Teufenlage und der repräsentativen Gebirgsdruckfestigkeit vorgenommen werden. Die Teufe des jeweiligen identifizierten Gebiets wird für die An-

wendung des Indikators „Tiefe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter GOK]“ (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) dokumentiert (siehe Kapitel 7.2.4).

Repräsentative Gebirgsdruckfestigkeiten sind für die Wirtsgesteine im jeweiligen Referenzdatensatz dokumentiert (siehe BGE 2020b). Auf Basis dieser beiden Informationen ist eine Bewertung nach Abbildung 25 oder Abbildung 26 vorzunehmen und begründet in das Bewertungsmodul einzutragen.

7.6 Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten (Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG)

7.6.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten“ nach Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG erfasst die im einschlusswirksamen Gebirgsbereich möglicherweise auftretenden Fluidwegsamkeiten (BT-Drs 18/11398, S. 75). Die Neigung des Wirtsgesteins zur Ausbildung solcher Wegsamkeiten soll dabei möglichst gering sein um den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten. Es soll soweit wie möglich ausgeschlossen werden, dass bereits solche Wegsamkeiten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorliegen oder in Folge der Errichtung eines Endlagers dauerhaft neu entstehen (BT-Drs 18/11398, S. 75).

Bewertungsrelevante Eigenschaften hierfür sind die „Veränderbarkeit der Gebirgsdurchlässigkeit“ sowie die „Rückbildbarkeit von Rissen“. In dieser Anlage ist zusätzlich noch eine „Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren“ vorzunehmen.

7.6.2 Anwendung des Kriteriums

Die Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG ist auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich anzuwenden. Wie in Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) ausgeführt, erfolgt daher die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete zum jetzigen Zeitpunkt anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Veränderbarkeit der Gebirgsdurchlässigkeit“ setzt sich aus drei Indikatoren zusammen, wobei für den Indikator „Duktilität des Gesteins“ der Hinweis im StandAG gegeben wird, dass dieser Indikator erst für den Vergleich von Standorten angewandt werden soll. Dementsprechend wird dieser Indikator in der jetzigen Phase des Verfahrens nicht berücksichtigt.

Für die „Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren“ ist im Bewertungsmodul ein eigenständiges Indikatorenformular vorhanden, welches ausgefüllt werden muss. Die dort vorgenommene Bewertung sollte mit der Bewertung des Kriteriums übereinstimmen.

7.6.3 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit

7.6.3.1 Beschreibung – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit“ setzt sich aus den Indikatoren „Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit / repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit“, „Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit [...]“ sowie „Duktilität des Gesteins“ zusammen (Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG).

Für den Indikator „Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit / repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit“ ist der Quotient der Gebirgsdurchlässigkeit, also der hydraulischen Leitfähigkeit des natürlichen Gesteinsverbandes, die sich aus der Trennfugendurchlässigkeit und der Gesteinsmatrixdurchlässigkeit zusammensetzt, und der Durchlässigkeit der Gesteinsmatrix zu betrachten (Alfarra et al. 2020, S. 156). Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 35 aufgeführt.

Tabelle 35: Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit	< 10	10 – 100	> 100

Mit dem Indikator „Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit [...]“ (Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG) wird bewertet, ob durch die existierenden geowissenschaftlichen Informationen über das Wirtsgestein und seine Inhaltsstoffe (wie z. B. Fluide) Aussagen über seine langfristige niedrige Gebirgsdurchlässigkeit getroffen werden können (Alfarra et al. 2020, S. 157). Dafür sind für den Indikator im Gesetz Erfahrungsbereiche aufgelistet, welche für eine Bewertung zu betrachten sind, siehe Tabelle 36. Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 36 aufgeführt.

Tabelle 36: Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit

Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums		
<p>Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen in folgenden Erfahrungsbereichen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rezente Existenz als wasserlösliches Gestein • fossile Fluideinschlüsse • unterlagernde wasserlösliche Gesteine • unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe • Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken • Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung • Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und flüssigen Medien 		
Wertungsgruppe		
günstig	bedingt günstig	weniger günstig
<p>Die Gebirgsformation/ der Gesteinstyp wird unmittelbar oder mittelbar anhand eines oder mehrerer Erfahrungsbereiche als gering durchlässig bis geologisch dicht identifiziert auch unter geogener oder technogener Beanspruchung.</p>	<p>Die Gebirgsformation/ der Gesteinstyp ist mangels Erfahrung nicht unmittelbar/mittelbar als gering durchlässig bis geologisch dicht zu charakterisieren.</p>	<p>Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp wird unmittelbar oder mittelbar anhand eines Erfahrungsbereichs als nicht hinreichend gering durchlässig identifiziert.</p>

Für den Indikator „Duktilität des Gesteins“ ist in der Tabelle zu Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG folgendes festgehalten: „da es keine festgelegten Grenzen gibt, ab welcher Bruchverformung ein Gestein duktil oder spröde ist, soll dieses Kriterium⁸ nur bei einem Vergleich von Standorten angewandt werden.“. Folglich kommt der Indikator „Duktilität des Gesteins“ weder bei der Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG noch bei der Ermittlung von Standortregionen gemäß § 14 StandAG zur Anwendung.

7.6.3.2 Anwendung – Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit

Die Bewertung des Indikators „Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit / repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit“ erfordert das Vorliegen von gebietsspezifischen Da-

⁸ Aus der angeführten Begründung wird abgeleitet, dass es sich hier um die Anwendung des Indikators und nicht des gesamten Kriteriums handelt.

ten, insbesondere der Trennfugendurchlässigkeit des jeweiligen Standortes um eine Differenzierung der Gebirgs- und Gesteinsdurchlässigkeit vorzunehmen. Zum jetzigen Zeitpunkt erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand des Referenzdatensatz des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b). Des Weiteren ist im jeweiligen Referenzdatensatz die „Erfahrung über die Barrierewirksamkeit“ des jeweiligen Wirtsgesteins dargestellt.

7.6.4 Bewertungsrelevante Eigenschaft – Rückbildbarkeit von Rissen

7.6.4.1 Beschreibung – Rückbildbarkeit von Rissen

Die bewertungsrelevante Eigenschaft „Rückbildbarkeit von Rissen“ wird über die Indikatoren „Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung“ und „Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung“ bewertet (Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG).

Der Indikator „Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung“ bewertet, durch welche Prozesse sich die Sekundärpermeabilität zurückbildet (Alfarra et al. 2020, S. 157 f.). Unter Rissen werden nach Lux & Eberth (2002a) infolge technogener Einwirkungen entstandene Trennflächen verstanden, im Gegensatz zu durch geogene Einwirkungen entstandenen Klüften. Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 37 aufgeführt.

Tabelle 37: Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung

Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums		
Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung		
Wertungsgruppe		
günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Die Risssschließung erfolgt aufgrund duktilen Materialverhaltens unter Ausgleich von Oberflächenrauigkeiten im Grundsatz vollständig.	Die Risssschließung erfolgt durch mechanische Rissweitenverringering in Verbindung mit sekundären Mechanismen, zum Beispiel Quelldeformationen.	Die Risssschließung erfolgt nur in beschränktem Maße (zum Beispiel bei sprödem Materialverhalten, Oberflächenrauigkeiten, Brückenbildung).

Der Indikator „Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung“ bewertet, in wieweit und durch welche Prozesse Risse im Wirtsgestein verheilen und dadurch die ursprünglichen mechanischen Eigenschaften des Gesteins wiederhergestellt werden (Alfarra et al. 2020, S. 158). Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 38 aufgeführt.

Tabelle 38: Auszug aus Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG – Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung

Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums		
Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung		
Wertungsgruppe		
günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Rissverheilung durch geochemisch geprägte Prozesse mit erneuter Aktivierung atomarer Bindungskräfte im Rissflächenbereich	-	Rissverheilung nur durch geogene Zuführung und Auskristallisation von Sekundärmineralen (mineralisierte Poren- und Kluftwässer, Sekundärmineralisation)

7.6.4.2 Anwendung – Rückbildbarkeit von Rissen

Für die Bewertung der beiden Indikatoren sind sehr detaillierte Informationen über das Materialverhalten des jeweiligen Gesteins notwendig, wie bspw. unter anderem Informationen zur Duktilität des Gesteins oder Kenntnisse zur geochemischen Zusammensetzung der Fluide im Gestein. Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass solche detaillierten Informationen nicht oder nur vereinzelt vorliegen. Dementsprechend wird zum jetzigen Zeitpunkt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der Referenzdatensätze des jeweiligen Wirtsgesteins vorgenommen (siehe BGE 2020b).

7.6.5 Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren

7.6.5.1 Beschreibung der zusammenfassenden Beurteilung

Das "Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten" unterscheidet sich insofern von den anderen geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, als das für dieses Kriterium explizit eine zusammenfassende Beurteilung aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren in Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG gefordert wird, siehe Tabelle 39.

Tabelle 39: Wertungsgruppen der „Zusammenfassenden Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren“ (Auszug aus Anlage 6 (zu § 24) Absatz 4 StandAG)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren		Bewertung überwiegend „günstig“: Keine bis marginale Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	Bewertung überwiegend „bedingt günstig“: Geringe Neigung zur Bildung von dauerhaften Fluidwegsamkeiten	Bewertung überwiegend „weniger günstig“: Bildung von dauerhaften sekundären Fluidwegsamkeiten zu erwarten

7.6.5.2 Anwendung der zusammenfassenden Beurteilung

Wie für alle anderen Abwägungskriterien ist für Anlage 6 (zu § 24 Abs. 4) StandAG eine zusammenfassende Bewertung, in diesem Fall „zusammenfassende Beurteilung“ genannt, vorzunehmen (vgl. Kapitel 8). Die Ausführungen zur jeweiligen Wertungsgruppen dienen dabei als Bewertungsgrundlage (siehe Tabelle 39). Die Bewertung ist im Bewertungsmodul in das Indikatorenformular einzutragen und in das Kriterienformular zu übernehmen.

7.7 Kriterium zur Bewertung der Gasbildung (Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)

7.7.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der Gasbildung“ ist Teil der Kriteriengruppe „weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften“ nach § 24 Abs. 5 StandAG und dient zur Beurteilung potenzieller Gasentstehung im Einlagerungsbereich (Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Ausschlaggebend ist dabei im Speziellen die Verfügbarkeit von Wasser, welches im Endlager durch Kontakt mit den Abfallbehältern zur Entstehung von Gasen durch Korrosion führen kann, was wiederum eine Druckerhöhung im Gestein und somit eine Gefährdung der Integrität der geologischen Barriere verursachen kann (K-Drs. 268). Um die Integrität der geologischen Barriere zu schützen soll die Gasbildung, welche auf den Kontakt von Abfällen und Wasser zurückzuführen ist, so gering wie möglich sein (BT-Drs 18/11398, S. 75)

Für die Bewertung wird als Indikator das „Wasserangebot im Einlagerungsbereich“ herangezogen, welcher Teil der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Gasbildung“ ist (Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Unter dem Begriff „Wasserangebot im Einlagerungsbereich“ wird nach Alfarra et al. (2020, S. 159) zusammenfassend „die Menge des in einem Einlagerungsbereich vorhandenen und aus dem Wirtsgestein stammenden Wassers und die Rate, mit der Wasser aus dem Wirtsgestein in einen Einlagerungsbereich zutreten könnte“, verstanden.

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 40 aufgeführt.

Tabelle 40: Auszug aus Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Wasserangebot im Einlagerungsbereich

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Gasbildung	Wasserangebot im Einlagerungsbereich	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit < 10 ⁻¹¹ m/s)	Gasbildung

7.7.2 Anwendung des Kriteriums

Zur Anwendung des Indikators anhand der Wertungsgruppen, müssen zunächst die Begriffe „trocken“ und „feucht“ definiert werden. Eine quantitative Angabe zu den Begriffen, wie auch eine Erklärung, inwieweit „trockene“ von „feuchten“ Gesteinen zu unterscheiden sind, ist im StandAG nicht angegeben.

Generell gibt es keine allgemeingültige oder messbare Abgrenzung, wie zwischen „trocken“ und „feucht“ unterschieden werden kann (Beushausen et al. 2020, S. 24).

Die in Anlage 7 (zu § 24 Abs. 5) StandAG angegebenen Wertungsgruppen sind wörtlich identisch mit den Wertungsgruppen, welche AkEnd (2002) zum Wasserangebot im Wirtsgestein darstellt. Daher kann hilfsweise auf die entsprechenden Begriffsdefinitionen des AkEnd (2002) zurückgegriffen werden. Nach AkEnd (2002) gilt ein Gestein als „feucht“, wenn die zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit präsent ist, anderenfalls gilt das Gestein als „trocken“.

Aus dieser Definition geht jedoch nicht eindeutig hervor, wie die „zur Korrosion erforderliche Feuchtigkeit“ definiert ist, dies kann erst mit der standortspezifischen Festlegung der Materialien der technischen Barrieren und detaillierter Analyse der Wechselwirkungen mit den geotechnischen und geologischen Barrieren quantifiziert werden. Solche Informationen stehen in der derzeitigen Phase des Standortauswahlverfahrens jedoch nicht zur Verfügung. Zusätzlich ist zum jetzigen Zeitpunkt zu erwarten, dass Informationen über den Wassergehalt nicht oder vereinzelt für die identifizierten Gebiete vorliegen. Es wird darüber hinaus darauf hingewiesen, dass weitere Parameter für die Bestimmung der Gasbildung im Einlagerungsbereich von Bedeutung sind. Diese schließen z. B. die Art der Abfälle, die Temperatur und das chemische Milieu am Einlagerungsort ein. Standortspezifische Untersuchungen, welche die Gesamtheit der Parameter betrachten werden im späteren Verlauf des Verfahrens durchgeführt.

Eine Bewertung der identifizierten Gebiete soll anhand der Referenzdatensätze für das jeweilige Wirtsgestein vorgenommen werden (siehe BGE 2020b).

7.8 Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit (Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)

7.8.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit“ erfasst das Verhalten der Gesteine des Endlagersystems bei Temperaturänderungen infolge der Einlagerung radioaktiver Abfälle (BT-Drs 18/11398, S. 76). Die Gesteine des Endlagerbereichs sollen so beschaffen sein, dass es zu keinem Festigkeitsverlust und zur Bildung von Sekundärpermeabilitäten durch thermisch bedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften sowie thermomechanischer Gebirgsspannungen kommt (BT-Drs 18/11398, S. 76). Um die Temperaturverträglichkeit zu gewährleisten, sollen die Wirtsgesteine hinsichtlich ihrer Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung sowie der Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen eingeordnet werden. Thermische Stabilität gegenüber thermomechanischer Spannungen und Mineralumwandlungen ist dabei als „günstig“ einzuordnen.

Für das „Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit“ werden in Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG keine bewertungsrelevanten Eigenschaften sowie Wertungsgruppen für die Indikatoren benannt.

Der Indikator „Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung“ bewertet die mechanische Festigkeit der Gesteine gegenüber auftretender thermomechanischer Spannungen. Die thermische Stabilität der Minerale des Wirtsgesteins gegenüber Mineralumwandlungen wird durch den Indikator „Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen“ bewertet.

7.8.2 Anwendung des Kriteriums

Es wird davon ausgegangen, dass es sich bei den in Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG zu betrachtenden „betroffenen Gesteinsformationen“ um die Gesteinsformationen handelt, welche den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen sollen. Entsprechend Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) erfolgt daher die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete zum jetzigen Zeitpunkt anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Es wird außerdem davon ausgegangen, dass für die Festlegung der Grenztemperatur von 100 Grad Celsius an der Außenfläche der Behälter (§ 27 Abs. 4 StandAG) eine negative Auswirkung der Temperaturveränderung auf eine mögliche geotechnische Barriere berücksichtigt wurde und diese Auswirkung deshalb für die Bewertung des Kriteriums nicht berücksichtigt werden muss. Daher erfolgt die Anwendung der Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG auf die „Gesteinsformationen“, dementsprechend die endlagerrelevante Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

7.8.3 Indikator – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung

7.8.3.1 Beschreibung – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung

Der Indikator „Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung“ bewertet die mechanische Festigkeit der Gesteine im Endlagerbereich gegenüber auftretender thermomechanischen Spannungen (Alfarra et al. 2020, S. 160). In Beushausen et al. (2020, S. 25) wird vorgeschlagen unter wärmeinduzierter Sekundärpermeabilität „die Erhöhung der ursprünglichen Permeabilität des Wirtsgesteins infolge der Beanspruchung durch die Einbringung thermischer Lasten zu verstehen“. Diesem Vorschlag wird zum jetzigen Zeitpunkt gefolgt.

Thermomechanische Spannungen resultieren aus dem Wärmeeintrag des eingebrachten wärmeentwickelnden Abfalls („thermische Last“) und sind abhängig von den Materialeigenschaften der Gesteinsformation (Beushausen et al. 2020). Diese Parameter können z. B. die thermische Leitfähigkeit, den thermischen Expansionskoeffizienten, die spezifische Wärmekapazität, die Dichte und die Zugfähigkeit des Gesteins umfassen (Beushausen et al. 2020, S. 151; AkEnd 2002).

Thermomechanische Spannungen können unter bestimmten Bedingungen zu einem Festigkeitsverlust und zur Bildung von Sekundärpermeabilitäten führen. In Alfarra et al. (2020, S. 160) wird erläutert, dass es nach aktuellem Kenntnisstand im trockenen Einlagerungsbereich nicht zu thermomechanisch bedingten Festigkeitsüberschreitungen kommen kann. Durch die Erwärmung des Bereiches, in dem eingelagert wird, kommt es zu einer Volumenexpansion und damit zu einem Anstieg der Normalspannung im Gebirge und somit einer Verbesserung des Spannungszustandes im Einlagerungsbereich. Lediglich im Fernfeld kann es durch eine geringe Erwärmung zu einer Abnahme der Normalspannung und zu ungünstigen Spannungszuständen kommen (Alfarra et al. 2020, S. 160). Alfarra et al. (2020, S. 161) weisen außerdem darauf hin, dass sich in fluidgesättigten Gesteinen der Spannungszustand aufgrund des Porenwasserdruckes hinsichtlich der Dilatanz- und Zugfestigkeitsgrenze negativ auswirken kann.

Volumenexpansion wird aufgrund eines positiven thermischen Expansionskoeffizienten hervorgerufen. Der thermischen Expansionskoeffizient α ist eine physikalische Größe, die das Verhalten eines Materials bezüglich seiner Längenmessungen bei Temperaturveränderungen beschreibt. Der thermische Expansionskoeffizient wird in der Einheit 1/K angegeben (Heemann et al. 2014). Ein hoher Wert entspricht einer stärkeren Ausdehnung (Meleshyn et al. 2016). Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist temperaturabhängig und wird mit folgender mathematischen Definition beschrieben (Heemann et al. 2014):

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dT} \quad (10)$$

Mit der relativen Längenänderung $\frac{dL}{L}$ in Meter und der Temperaturänderung dT in Kelvin.

7.8.3.2 Anwendung – Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihrer Ausdehnung

Nach AkEnd (2002) und basierend auf numerischen Untersuchungen von Jentzsch (2002) wurde zunächst eine Abwägung nach der Zugfestigkeit des Gesteins und der Ausbreitung der thermomechanisch gestörten Umgebung anhand von Grenzwerten vorgeschlagen. Nach diesem Vorgehen soll die thermomechanisch beeinflusste Umgebung möglichst klein sein, für eine Bewertung des Indikators mit „günstig“.

Aufgrund von Diskussionen in der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe und durch neueste Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik hat sich ergeben, dass unterschiedliche Materialeigenschaften und thermomechanisch bedingte Prozesse in den verschiedenen Wirtsgesteinstypen als vorteilhaft gesehen werden (Meleshyn et al. 2016). Daher kann keine quantitative Abwägung nach Materialeigenschaften oder der thermomechanisch gestörten Umgebung für alle Wirtsgesteine gleichermaßen erfolgen (Meleshyn et al. 2016).

Wie in Alfara et al. (2020, S. 160 f.) dargelegt wird, ist in allen Gesteinen mit positiven thermischen Expansionskoeffizienten mit einer Verbesserung des Spannungszustandes zu rechnen, wodurch die thermische Stabilität gewährleistet ist. Gesteinsformationen mit einem positiven thermischen Expansionskoeffizienten sind daher als „günstig“ einzustufen, während Gesteinsformationen mit einem negativen Expansionskoeffizienten als „nicht günstig“ einzustufen sind. Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass thermische Expansionskoeffizienten nicht oder nur vereinzelt für die identifizierten Gebiete vorliegen. Eine Bewertung der identifizierten Gebiete erfolgt daher mit Hilfe der Referenzdatensätze anhand des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

Für eine detaillierte, wirtsgesteinsspezifische Beschreibung und Beurteilung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten sind numerische, standortspezifische Modellierungen erforderlich, welche sowohl Materialeigenschaften des Wirtsgesteins als auch das Einlagerungskonzept und das Inventar des wärmeentwickelnden Abfalls berücksichtigen. Diese werden im späteren Verlauf des Verfahrens durchgeführt.

7.8.4 Indikator – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen

7.8.4.1 Beschreibung – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen

Der Indikator „Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen“ bewertet die thermische Stabilität der Minerale des Wirtsgesteins gegenüber Mineralumwandlungen (Alfarra et al. 2020, S. 161). Temperaturbedingte Mineralumwandlungen, können unter bestimmten Bedingungen zu einer Verringerung des Feststoffvolumens führen und sowohl die Entstehung von Fluidwegsamkeiten begünstigen, als auch den Festigkeitszustand beeinflussen. Für die verschiedenen Wirtsgesteinstypen sind verschiedene Mineralumwandlungen zu betrachten.

Bei Tongesteinen gibt es eine Reihe möglicher Mineralumwandlungen (Bräuer et al. 2016, S. 19). Jedoch bilden die Smektite und Illit/Smektit-Wechselagerungsformen die reaktivsten Komponenten (Mengel 2006, S. 17). Bei Smektiten ist das Sorptionsvermögen und die Quellfähigkeit höher als bei Illiten. Daher kann die Umwandlung von Smektit zu Illit die endlagerrelevanten Eigenschaften des Tongesteins negativ beeinflussen (Bracke et al. 2019, S. 98). Bei temperaturbedingten Mineralumwandlungen sind im Wirtsgestein Steinsalz Entwässerungen von Salzhydraten zu betrachten. Salzhydrate haben in ihrer Mineralstruktur Kristallwasser gebunden. Durch den Eintrag von Wärme können diese Minerale zersetzt und Kristallwasser freigesetzt werden (Bertrams et al. 2020, S. 170). Im Kristallingestein sind Mineralumwandlungen von untergeordneter Bedeutung, da thermische Stabilität bis zu sehr hohen Temperaturen gegeben ist (Becker et al. 2020, S. 111).

7.8.4.2 Anwendung – Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen

Das StandAG gibt in den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen eine Grenztemperatur von 100 °C an der Außenfläche des Behälters vor, solange die maximalen physikalisch möglichen Temperaturen in den jeweiligen Wirtsgesteinen aufgrund ausstehender Forschungsarbeiten noch nicht festgelegt worden sind (§ 27 Abs. 4 StandAG). Da diese Grenztemperatur bereits negative Auswirkungen berücksichtigt und aus Anlage 8 (zu § 24 Abs. 5) StandAG keine Wertungsgruppen hervorgehen, werden Mineralumwandlungen unter 100 °C mit „nicht günstig“ gewertet. Dem hingegen gewährleisten keine Mineralumwandlungen unter 100 °C die thermische Stabilität und werden mit „günstig“ gewertet.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass keine oder nur vereinzelte Informationen zur genauen mineralogischen Zusammensetzung der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation der identifizierten Gebiete vorliegen, welche für eine gebietsspezifische Bewertung notwendig sind. Daher erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete mit Hilfe der Referenzdatensätze anhand des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

7.9 Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)

7.9.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ bewertet die Fähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs den Transport von Radionukliden zu verlangsamen bzw. möglichst ganz zu unterbinden (BT-Drs 18/11398, S. 76).

Für die Bewertung des Kriteriums soll die bewertungsrelevante Eigenschaft „Sorptionsfähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ anhand der Indikatoren „Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide“, „Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche“, „Ionenstärke des Grundwassers“ sowie „Öffnungsweite der Gesteinsporen“ bewertet werden (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG).

7.9.2 Anwendung des Kriteriums

Die Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG ist auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich anzuwenden. Entsprechend Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) erfolgt daher die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Nach Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG sind nur für den Indikator „Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide“ entsprechende Sorptionskoeffizienten in Wertungsgruppen eingeteilt, siehe Tabelle 40. Außerdem gibt das Gesetz vor, dass ein „*möglichst hoher Gehalt* an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche wie Tonminerale sowie Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate“, eine „*möglichst hohe Ionenstärke* des Grundwassers“ und eine „*Öffnungsweite* der Gesteinsporen *im Nanometerbereich*“ positiv, also mit „günstig“, zu bewerten sind.

Das Kriterium enthält Indikatoren welche unterschiedliche Wertungsgruppen aufweisen. So ist für den Indikator „Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide“ die Bewertung mit „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ durchzuführen (siehe Tabelle 41), wohingegen die Bewertung der restlichen Indikatoren als „günstig“ oder „nicht günstig“ erfolgt (siehe Anwendungsprinzip 9, Kapitel 2). Für die zusammenfassende Bewertung des Kriteriums soll die Bewertung dementsprechend mit „günstig“ oder „nicht günstig“ erfolgen.

7.9.3 Indikator – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide

7.9.3.1 Beschreibung – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide

Der Indikator „Sorptionsfähigkeit der Gesteine“ bewertet die Rückhaltefähigkeit der Wirtsgesteinsformation anhand ausgewählter langzeitrelevanter Radionuklide, deren Gleichgewichts-Sorptionskoeffizient nach der Henry-Isotherme (K_d -Wert) einen Schwellenwert von $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ überschreitet (Alfarra et al. 2020).

Das K_d -Konzept (Henry-Isotherme) beschreibt das Verhältnis von gelöster Konzentration eines Elements und an der Sedimentmatrix gebundener Stoffmenge eines Elements durch einen linearen Zusammenhang (Noseck 1996). Das Verhältnis der Elementkonzentration an der festen Phase und in Lösung resultiert normalerweise aus einer Kombination verschiedener komplexer Prozesse (McKinley & Scholtis 1992). Das lineare K_d -Konzept stellt eine Vereinfachung dar. Das bedeutet, dass eine unbegrenzte Sorptionskapazität des Sediments und identische, voneinander unabhängige Sorptionsplätze angenommen werden. Das K_d -Konzept impliziert, dass die Sorption unabhängig von der vorliegenden Elementkonzentration ist (Noseck 1996).

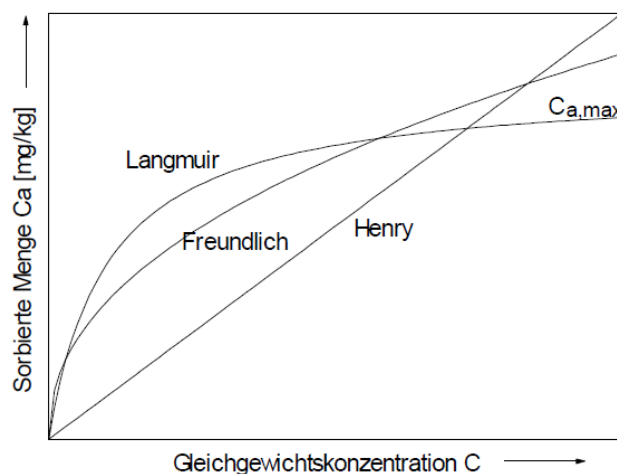


Abbildung 27: Schematischer Verlauf verschiedener Sorptionsisotherme, inklusive der Henry-Isotherme (Brasser et al. 2002)

Der lineare Verteilungskoeffizient, K_d -Wert in m^3/kg , wird wie folgt beschrieben (McKinley & Scholtis 1992, S. 22):

$$K_d = \frac{C_{\text{Matrix}}}{C_{\text{Lösung}}} \quad (11)$$

Mit $C_{\text{Lösung}}$, der Lösungskonzentration und C_{Matrix} , der matrixgebundenen Stoffmenge. Der K_d -Wert kann experimentell durch Sorptionsmessungen und Desorptionsmessungen bestimmt werden (Noseck 1996).

Die Einordnung der entsprechenden Sorptionskoeffizienten in Wertungsgruppen erfolgt durch die Erfüllung des Schwellenwerts von $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ anhand der in Tabelle 41 aufgelisteten Kombinationen von Radionukliden. Der Schwellenwert einer Wertungsgruppe

muss für alle aufgeführten Radionuklide der Gruppe überschritten werden um die jeweilige Wertungsgruppe zu erreichen.

Tabelle 41: Auszug aus Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Sorptionsfähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	K_d -Wert für folgende langzeitrelevante Radionuklide $\geq 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$	Uran, Protactinium, Thorium, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Palladium, Jod, Cäsium, Chlor	Uran, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Cäsium	-

7.9.3.2 Anwendung – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden Radionuklide

Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass lineare Verteilungskoeffizienten nicht oder nur sehr vereinzelt für die identifizierten Gebiete vorliegen. Dementsprechend wird zum jetzigen Zeitpunkt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der Referenzdatensätze des jeweiligen Wirtsgesteins vorgenommen (siehe BGE 2020b).

Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass experimentell ermittelte Sorptionsdaten aufgrund ihrer Abhängigkeit von den Versuchsrandbedingungen nicht ohne weiteres auf andere geochemische Bedingungen übertragen werden können (AkEnd 2002).

7.9.4 Indikator – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche

7.9.4.1 Beschreibung – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche

Der Indikator bewertet den Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche der Wirtsgesteine (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)). Sorptionsprozesse finden an den Grenzflächen zwischen Wasser und Gestein statt. Daher ist für die Sorptionsfähigkeit eines Minerals die Größe seiner spezifischen Oberfläche wesentlich (Brasser et al. 2002). Für das Sorptionsvermögen eines Wirtsgesteins ist aus diesem Grund ein hoher Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche als positiv zu bewerten. Diese Mineralphasen umfassen nach Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) Tonminerale sowie Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate.

7.9.4.2 Anwendung – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche

In Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG wird für den Indikator keine Einteilung in Wertungsgruppen vorgenommen, es wird lediglich qualitativ angegeben, dass ein „möglichst hoher“ Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche als günstig angesehen wird (Alfarra et al. 2020, S. 162).

Für die Anwendung des Indikators wird ein Schwellenwert für einen „möglichst hohen“ Gehalt vorausgesetzt. Nach Empfehlung von Beushausen et al. (2020, S. 25), kann dieser Schwellenwert durch das 0,75-Quantil der üblicherweise oder erfahrungsgemäß zu erwartenden Werte beschrieben werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Indikators sind Daten des Wirtsgesteins zum Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche, wie Tonminerale sowie Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate. Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass solche Daten nicht oder nur sehr vereinzelt für die identifizierten Gebiete vorliegen. Daher können für die „zu erwartenden Werte“ zum jetzigen Zeitpunkt keine Schwellenwerte definiert werden, da hierfür detaillierte Untersuchungen notwendig sind. Dementsprechend wird zum jetzigen Zeitpunkt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der Referenzdatensätze des jeweiligen Wirtsgesteins vorgenommen (siehe BGE 2020b). Aufgrund der Tatsache, dass im Moment keine Schwellenwerte definiert werden können, wird im Referenzdatensatz kein quantitativer Vergleich mit zu erwartenden Werten durchgeführt, sondern qualitativ, unter Berücksichtigung vorhandener Literatur, begründet ob die zu betrachtenden Werte „möglichst hoch“ sind und über den üblicherweise oder erfahrungsgemäß zu erwartenden Werten liegen.

7.9.5 Indikator – Ionenstärke des Grundwassers

7.9.5.1 Beschreibung – Ionenstärke des Grundwassers

Der Indikator bewertet die Stoffmengenkonzentration gelöster Ionen, im Grundwasser des Wirtsgesteins (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Die Ionenstärke beschreibt die Konzentration an Ionen in einer Lösung und wird in der Einheit mol/L angegeben.

Gemäß dem Kommissionsbericht bezieht sich dieser Indikator auf die Einschränkung oder Verhinderung der Migration von Kolloiden (K-Drs. 268). Insgesamt gilt, dass mit zunehmender Ionenstärke, die Stabilität der Kolloide abnimmt. Da hohe Gehalte an Kolloiden zu einer Verstärkung der Radionuklidmobilität führen, sind niedrige Gehalte an Kolloiden wünschenswert (Kienzler et al. 2001). Diese Einschränkung zur Migration von Kolloiden wird im StandAG nicht wiedergegeben (Alfarra et al. 2020, S. 163). Nach Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG wird eine „möglichst hohe“ Ionenstärke generell als positiv bewertet.

Die Ionenstärke des Grundwassers hängt nicht von der Art des Wirtsgesteins ab, sondern von den gebietspezifischen geologischen Gegebenheiten. Zu den Parametern welche die Beschaffenheit des Grundwassers beeinflussen zählen unter anderem die Menge und Zusammensetzung der Niederschlagswässer, geochemische Prozesse im Untergrund, die durchfließende Wassermenge, die Verweilzeit, Temperatur und lithologische Beschaffenheit der Gesteine (Brasser & Brewitz 2002).

7.9.5.2 Anwendung - Ionenstärke des Grundwassers

In Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG wird für den Indikator keine Einteilung in Wertungsgruppen vorgenommen, es wird lediglich qualitativ angegeben, dass eine „hohe Ionenstärke“ als günstig angesehen wird. Für die Anwendung des Indikators wird ein Schwellenwert für einen „möglichst hohen“ Gehalt vorausgesetzt. Nach Empfehlung von Beushausen et al. (2020, S. 25) kann dieser Schwellenwert durch das 0,75-Quantil der üblicherweise oder erfahrungsgemäß zu erwartenden Werte beschrieben werden. Da noch keine detaillierten, gebietspezifischen Untersuchungen stattgefunden haben, können zum jetzigen Zeitpunkt für die zu erwartenden Werte keine Schwellenwerte definiert werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Indikators sind Daten zur Ionenstärke der Wirtsgesteinsformation. Es wird erwartet, dass zum jetzigen Zeitpunkt solche Daten nicht oder nur sehr vereinzelt für die identifizierten Gebiete vorliegen. Aufgrund dessen wird die Bewertung der identifizierten Gebiete auf Basis des Referenzdatensatzes des jeweiligen Wirtsgesteins vorgenommen (siehe BGE 2020b). Außerdem wird im Referenzdatensatz kein quantitativer Vergleich mit zu erwartenden Werten durchgeführt, sondern qualitativ unter Berücksichtigung vorhandener Literatur begründet, ob die zu betrachtenden Werte „möglichst hoch“ sind und über den üblicherweise oder erfahrungsgemäß zu erwartenden Werten liegen.

7.10 Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)

7.10.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse“ ist Teil der Kriterien-
gruppe „weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften“ (§ 24 Abs. 5 StandAG) und dient
zur Einschätzung der Tiefenwasserchemie in Zusammenhang mit den Gesteinen im ein-
schlusswirksamen Gebirgsbereich (BT-Drs 18/11398, S. 76). Die Tiefenwasserchemie
sowie die festen Mineralphasen sollen zu einer Rückhaltung der Radionuklide führen
sowie technische und geotechnische Barrieren nicht negativ beeinflussen (Anlage 10
(zu § 24 Abs. 5) StandAG).

Für das Kriterium sind keine bewertungsrelevanten Eigenschaften und keine Wertungs-
gruppen benannt. Das Kriterium besitzt jedoch fünf Indikatoren, welche positiv zu beur-
teilende hydrochemische Verhältnisse im einchlusswirksamen Gebirgsbereich anzei-
gen. Diese sind „ein chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich
des einchlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwas-
ser“, „neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tie-
fenwassers“, „ein anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers“, „ein
möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser“ sowie
„eine geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser“ (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5)
StandAG).

7.10.2 Anwendung des Kriteriums

Die Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG ist auf den einchlusswirksamen Gebirgsbe-
reich anzuwenden. Entsprechend Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) erfolgt daher
die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen end-
lagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung
der Mindestanforderungen ausgewiesen wird. Des Weiteren ist für die Anlage 10
(zu § 24 Abs. 5) StandAG die Hydrochemie des „Tiefenwassers“ bzw. des „tiefen Grund-
wassers“ zu betrachten. Der Begriff „tiefes Grundwasser“ wird in Bezug auf den Begriff
„Tiefenwasser“ nicht weiter abgegrenzt. Laut (Larue et al. 2001) wird „tiefes Grundwas-
ser“ auch als Synonym für „Tiefenwasser“ verwendet. Daraus folgend werden diese bei-
den Begriffe gleichbedeutend verwendet. Unter „Tiefenwasser“ bzw. „tiefem Grundwas-
ser“ werden im Kontext der Endlagersuche Grundwässer ab einer Tiefe von 300 Meter
unter GOK verstanden (vgl. § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG).

Es wird erwartet, dass Informationen zu hydrochemischen Verhältnissen im endlagerre-
levanten Tiefenbereichen in der derzeitigen Phase des Standortauswahlverfahrens nicht
flächendeckend vorliegen. Bereits in der Begründung des Gesetzentwurfes aus dem
Jahr 2017 (BT-Drs 18/11398, S. 76) und in der ersten Konzeption des Verfahrens in
AkEnd (2002, S. 94) wird betont, dass in frühen Phasen des Standortauswahlverfahrens
absehbar keine belastbaren, flächendeckenden Aussagen zu hydrochemischen Verhält-
nissen innerhalb eines Gebiets getroffen werden können. Dementsprechend wird als

erste Einschätzung eine Bewertung der identifizierten Gebiete anhand des jeweiligen Wirtsgesteins vorgenommen, diese ist im jeweiligen Referenzdatensatz dargelegt und zu verwenden (siehe BGE 2020b).

7.10.3 Indikator – Öffnungsweite der Gesteinsporen

7.10.3.1 Beschreibung – Öffnungsweite der Gesteinsporen

Der Indikator bewertet die Öffnungsweite der Poren des Wirtsgesteins (Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Gemäß dem Kommissionsbericht bezieht sich dieser Indikator auf die Filterwirkung gegenüber Kolloiden im Grundwasser. Um die Migration von Radionukliden, welche an Kolloiden sorbiert sind, einzuschränken sollen die Öffnungsweiten der Gesteinsporen klein sein (K-Drs. 268, S. 328). Der Bezug zur Filtration von Kolloiden wird in Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG nicht wiedergegeben (Alfarra et al. 2020, S. 163). In der Anlage werden lediglich Öffnungsweiten der Gesteinsporen im Nanometerbereich als positiv bewertet.

7.10.3.2 Anwendung – Öffnungsweite der Gesteinsporen

In Anlage 9 (zu § 24 Abs. 5) StandAG erfolgt keine Einteilung der Ausprägung des Indikators in Wertungsgruppen. Öffnungsweiten der Gesteinsporen im Nanometerbereich werden als „günstig“ angegeben. Demnach folgt, dass Öffnungsweiten von Gesteinsporen welche über dem Nanometerbereich liegen als „nicht günstig“ bewertet werden (siehe Anwendungsprinzip 5, Kapitel 2).

Voraussetzung für die Anwendung des Indikators sind Daten zur den Öffnungsweiten der Gesteinsporen der zu bewertenden Wirtsgesteinsformation (Beushausen et al. 2020, S. 152). Zum jetzigen Zeitpunkt ist zu erwarten, dass solche Daten nicht oder nur sehr vereinzelte für die identifizierten Gebiete vorliegen. Daher erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete auf Basis des Referenzdatensatz des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

7.10.4 Indikator – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser

7.10.4.1 Beschreibung – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser

Nach Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG stellt ein chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser ein erstes Anzeichen für in Hinblick auf die Rückhaltung der Radionuklide sowie den Schutz des Materials technischer und geotechnischer Barrieren positiv wirkender hydrochemischer Verhältnisse dar.

Nach Alfarra et al. (2020, S. 164) wird das Vorliegen eines chemischen Gleichgewichts über den Sättigungsindex *SI* ermittelt. Ein chemisches Gleichgewicht existiert dann, wenn im Grundwasser ein Sättigungszustand gegenüber den Mineralphasen im Wirtsgestein erreicht ist, was durch eine wirtsgesteinsunabhängige Tendenz des Sättigungsindex gegen den Wert Null angezeigt wird (Alfarra et al. 2020, S. 165). Die Wahrscheinlichkeit eines chemischen Gleichgewichts steigt mit der Reaktionszeit, wobei in offenen Systemen kein Gleichgewichtszustand zu erwarten ist (Beushausen et al. 2020, S. 153). Der Sättigungsindex ist definiert als (Alfarra et al. 2020, S. 164):

$$SI = \log(IAP/K) \quad (12)$$

wobei *IAP* dem Ionenaktivitätsprodukt und *K* dem Löslichkeitsprodukt entspricht.

Ein berechnetes Ungleichgewicht deutet auf Transportvorgänge des Tiefenwassers hin, welche die Integrität des Wirtsgesteins beeinträchtigen könnten. In Kienzler et al. (2001, S. 3) sind folgende Ursachen für ein berechnetes Ungleichgewicht genannt: Lösungsaustausch mit Wässern aus anderen Formationen, Auflösung der anstehenden Minerale durch zirkulierende Tiefenwässer, Bildung von metastabilen Gleichgewichten, Scheinbare Ungleichgewichte auf Grund von heterogener Verteilung der Mineralphasen im Gesteinskörper sowie ein scheinbares Ungleichgewichte auf Grund unzureichendem Kenntnisstand über die anstehenden Mineralphasen. Dem hingegen ist ein berechnetes Gleichgewicht ein Indiz für stagnierende oder nur langsam zirkulierende Tiefenwässer und wird daher als positiv betrachtet (Kienzler et al. 2001, S. 4).

Ein chemisches Gleichgewicht zwischen Wirtsgestein und tiefem Grundwasser im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ist von diversen Faktoren abhängig, z. B. den pH-Verhältnissen, dem Redoxmilieu sowie den Druck- und Temperaturbedingungen. Eine Untersuchung kann durch Extraktion und Analyse von Lösungen aus Wirtsgesteinsproben erfolgen.

7.10.4.2 Anwendung – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser

Nach Beushausen et al. (2020, S. 153) wird die Anwendung des Indikators anhand folgender Parameter empfohlen: dem Chemismus und Alter des Tiefenwassers, über den Sättigungsindex und Konzentrationen stabiler Isotope und Spurenelemente.

Belastbare Aussagen zum Vorliegen eines chemischen Gleichgewichts zwischen Wirtsgestein und tiefem Grundwasser können erst in späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens getroffen werden, da gebietsspezifische Betrachtungen nötig sind. Nach AkEnd (2002) ist dieser Indikator aufgrund der fehlenden Daten in den ersten beiden Verfahrensschritten nachrangig zum hydraulischen Kriterium „geringe Grundwasserbewegung“ zu betrachten. Bei günstigen hydraulischen Eigenschaften des Wirtsgesteins (z. B. hydraulischen Leitfähigkeiten kleiner 10^{-12} m/s) und ausreichender Mächtigkeit kann von langen Transportzeiten und somit einem chemischen Gleichgewicht ausgegangen werden (AkEnd 2002).

Da zum jetzigen Zeitpunkt zu erwarten ist, dass die notwendigen Informationen zum chemischen Gleichgewicht, speziell Werte für den Sättigungsindex, nicht oder nur vereinzelte für die identifizierten Gebiete vorliegen erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete auf Basis des Referenzdatensatz des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

7.10.5 Indikator – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers

7.10.5.1 Beschreibung – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers

Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen im Bereich des Tiefenwassers stellen nach Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG in Bezug auf die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle positiv zu bewertende hydrochemische Verhältnisse dar. Der Indikator dient der Bewertung der pH-Verhältnisse im Bereich des Tiefenwassers des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und bezieht sich direkt auf einen pH-Bereich zwischen 7 und 8 (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Dieser pH-Bereich, welcher neutralen bis leicht alkalischen Bedingungen entspricht, ist aufgrund der pH-Abhängigkeit der Radionuklidlöslichkeit im Hinblick auf die Endlagerung positiv zu bewerten (AkEnd 2002).

Mit steigendem pH-Wert ist generell eine Abnahme der Radionuklidlöslichkeit und der Sorptionsfähigkeit zu erwarten, wobei zu beachten ist, dass Karbonatkomplexierungsreaktionen, die das Gegenteil bewirken können, ebenfalls bevorzugt ablaufen können (AkEnd 2002). Bei hohen CO₂-Partialdrücken kann die Karbonatkonzentration zunehmen und mittels dieser Reaktionen zu erhöhten Radionuklidkonzentrationen führen. Daher ist über den neutralen bis leicht alkalischen pH-Wert auch ein niedriger CO₂-Druck als günstig zu betrachten (Larue et al. 2001).

7.10.5.2 Anwendung – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers

Nach Empfehlung von Beushausen et al. (2020, S. 153) ist dieser Indikator mit Hilfe von pH-Wertbestimmung an Tiefenwässern aus Bohrungen und Bergwerken, sowie mittels Literaturangaben aus vergleichbaren Untersuchungen zu bestimmen.

Da zum jetzigen Zeitpunkt zu erwarten ist, dass pH-Werte für die identifizierten Gebiete nicht oder nur vereinzelt vorliegen, erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete auf Basis des Referenzdatensatz des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

7.10.6 Indikator – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers

7.10.6.1 Beschreibung – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers

Der Indikator „Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers“ bewertet das chemische Milieu im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Ein anoxisch-reduzierendes Milieu wirkt sich positiv auf die Rückhaltung der Radionuklide sowie den Schutz des Materials technischer und geotechnischer Barrieren aus und bezieht sich dabei nach Alfarrá et al. (2020, S. 165) auf das Redoxpotential E_h der Lösungen im Barrieregestein.

Das Redoxpotential E_h ist ein Maß für die elektrochemischen Bedingungen und beschreibt das Konzentrationsverhältnis von oxidierten und reduzierten Stoffen (Alfarrá et al. 2020, S. 165). E_h -Werte werden in der Einheit mV angegeben. Niedrige Werte weisen auf reduzierende Bedingungen hin. Das Milieu des Tiefenwassers hat einen Einfluss auf die Mobilisierung von Radionukliden, wobei anoxische(sauerstofffreie)-reduzierende Bedingungen einer Radionuklidmobilisierung entgegenwirken. Durch reduzierende Verhältnisse können radioaktive Elemente wie Neptunium, Uran, Plutonium oder Technetium in schwerlösliche, vierwertige Zustände überführt werden (Kienzler et al. 2001). Das Vorkommen von Fe(II)-Mineralien und reduzierten Festphasen, geringe E_h -Werte sowie die Abwesenheit freien Sauerstoffs können als Anzeichen für anoxisch-reduzierende Verhältnisse im Tiefenwasser interpretiert werden (Larue et al. 2001). Zusätzlich kann der Gehalt an organischem Material Aufschluss über die Redoxbedingungen geben (Larue et al. 2001).

Laut Kienzler et al. (2001) werden in den meisten tiefen Gesteinsformationen natürliche anoxisch-reduzierende Bedingungen beobachtet. Daher wird, davon ausgegangen, dass sich im Endlagerbereich nach einer bestimmten Zeit anoxisch-reduzierende Verhältnisse einstellen, nachdem der durch den Betrieb eingebrachte Sauerstoff verbraucht ist (Kienzler et al. 2001).

7.10.6.2 Anwendung – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers

Da zum jetzigen Zeitpunkt zu erwarten ist, dass E_h -Werte für die identifizierten Gebiete nicht oder nur sehr vereinzelt vorliegen, erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete auf Basis des Referenzdatensatz des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b).

7.10.7 Indikator – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser

7.10.7.1 Beschreibung – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser

Der Indikator „Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser“ der Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG spezifiziert, dass sich ein möglichst niedriger Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern positiv auf die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle auswirkt. Kolloide bezeichnen nach Alfarrá et al. (2020, S. 166) fein verteilte Feststoffe im Bereich von Nano- oder Mikrometern, die eine erkennbare Grundstruktur aufweisen und deren Entstehung z. B. auf chemische Prozesse oder hydraulische Änderungen im Grundwasser zurückgeführt werden kann. Neben Kolloiden beschreibt die im Indikator aufgeführte Komplexbildung die Koordinationsbindung von Atomen bzw. Atomgruppen um ein Zentralatom, was letztlich eine Änderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Ausgangsstoffe zur Folge hat (Alfarrá et al. 2020, S. 166). Verhältnismäßig niedrige Gehalte an Kolloiden und Komplexbildnern wirken sich positiv auf die sorptionsbedingte Rückhaltung von Radionukliden am Gestein und damit deren Transportdauer aus und sind daher in Bezug auf die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle als vorteilhaft anzusehen (Alfarrá et al. 2020, S. 166).

7.10.7.2 Anwendung – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser

In Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG erfolgt keine Einteilung der Ausprägung des Indikators in Wertungsgruppen, es wird lediglich qualitativ angegeben, dass ein „möglichst gering“ Gehalt als günstig angesehen wird. Für die Anwendung des Indikators wird ein Schwellenwert für einen „möglichst geringen“ Gehalt vorausgesetzt.

Zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren ist zu erwarten, dass keine oder nur sehr vereinzelt Informationen über den Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser der identifizierten Gebiete vorliegen, da noch keine detaillierten, gebietsspezifischen Untersuchungen stattgefunden haben. Aus diesem Grund kann derzeit noch kein Schwellenwert definiert werden und die Bewertung der identifizierten Gebiete erfolgt auf Basis des Referenzdatensatzes des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b). Beushausen et al. (2020, S. 26) empfiehlt daher den Ausdruck „möglichst gering“ als „möglichst unterhalb der üblicherweise oder erfahrungsgemäß in den betrachteten Tiefenwässern zu erwartenden Werten“ zu interpretieren. Aufgrund dessen wird im Referenzdatensatz kein quantitativer Vergleich mit „zu erwartenden Werten“ durchgeführt, sondern qualitativ, unter Berücksichtigung vorhandener Literatur, begründet ob die zu betrachtenden Werte „möglichst unterhalb der üblicherweise oder erfahrungsgemäß in den betrachteten Tiefenwässern zu erwartenden Werten“ liegen.

7.10.8 Indikator – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser

7.10.8.1 Beschreibung – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser

Der Indikator „Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser“ bewertet den Karbonatgehalt im Tiefenwasser im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Bei steigender Karbonatkonzentration im Tiefenwasser kommt es vermehrt zur Karbonatkomplexierung. Diese Komplexierungsvorgänge haben eine Verminderung der Sorption am Gestein zur Folge und dementsprechend eine erhöhte Konzentration von Radionukliden in der Lösung (Larue et al. 2001). Geringe Karbonatgehalte im Tiefenwasser sind daher in Bezug auf die Rückhaltung der Radionuklide als positiv einzuschätzen.

7.10.8.2 Anwendung – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser

Für die Anwendung des Indikators wird eine Definition des Begriffes „gering“ vorausgesetzt, da sich in Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG keine quantitative Angaben zu Karbonatkonzentrationen befinden. Nach Beushausen et al. (2020, S. 26) kann hier der Begriff „gering“ ebenfalls als „möglichst unterhalb der üblicherweise oder erfahrungsgemäß in den betrachteten Tiefenwässern zu erwartenden Werten“ interpretiert werden (vgl. Kapitel 7.10.7).

Es ist zu erwarten, dass in der aktuellen Phase des Standortauswahlverfahrens keine oder nur sehr vereinzelte Informationen zu Karbonatkonzentrationen der Tiefenwässer der identifizierten Gebiete vorliegen. Aus diesem Grund kann im Moment noch kein Schwellenwerte für den Begriff „gering“ in Bezug auf die Karbonatkonzentration definiert werden und die Bewertung der identifizierten Gebiete erfolgt auf Basis des Referenzdatensatzes des jeweiligen Wirtsgesteins (siehe BGE 2020b). In Übereinstimmung mit der von Beushausen et al. (2020, S. 26) vorgeschlagenen Interpretation wird im Referenzdatensatz kein quantitativer Vergleich mit „zu erwartenden Werten“ durchgeführt, sondern qualitativ, unter Berücksichtigung vorhandener Literatur, begründet ob die zu betrachtenden Werte „möglichst unterhalb der üblicherweise oder erfahrungsgemäß in den betrachteten Tiefenwässern zu erwartenden Werten“ liegen.

7.11 Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG)

7.11.1 Beschreibung des Kriteriums

Das „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ ist Teil der Kriteriengruppe „weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften“ (§ 24 Abs. 5 StandAG) und betrachtet den strukturellen Aufbau sowie die Zusammensetzung des Deckgebirges oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, welches zum langfristigen Schutz für dessen Integrität dienen soll (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG).

Nach § 2 Nr. 13 StandAG handelt es sich beim Deckgebirge um den Teil des Gebirges oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und bei Endlagersystemen, die auf technischen und geotechnischen Barrieren beruhen, oberhalb des Einlagerungsbereichs.

Für die Bewertung werden die Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“, „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ sowie „keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ herangezogen (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Diese sind Teil der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch günstigen Aufbau des Deckgebirges gegen Erosion und Subrosion sowie ihre Folgen (insbesondere Dekompaktion)“. Das Kriterium besitzt die Wertungsgruppen „günstig“, „weniger günstig“ und „ungünstig“.

7.11.2 Anwendung des Kriteriums

In der aktuellen Phase des Standortauswahlverfahrens ist zu erwarten, dass detaillierte Informationen zur geologischen Beschaffenheit des Deckgebirges nicht flächendeckend vorliegen. Es kann daher zum jetzigen Zeitpunkt lediglich eine erste Einschätzung des Deckgebirgszustands erfolgen. Wie in Anwendungsprinzip 7 (siehe Kapitel 2) dargelegt, kann die genaue räumliche Lage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zum jetzigen Zeitpunkt nicht ermittelt werden. Daher erfolgt die Bewertung der Indikatoren für die identifizierten Gebiete anhand der jeweiligen endlagerrelevanten Gesteinsabfolge oder -formation, welche im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen wird.

Die für die Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhem-

mender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ in der ungünstigen Wertungsgruppe genannte „fehlende Überdeckung“ darf nicht mit fehlendem Deckgebirge gleichgesetzt werden, da letzteres durch die Mindestanforderung „minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (§ 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG) bereits ausgeschlossen ist und somit kein zu berücksichtigender Fall für die Abwägungskriterien wäre. Unter Überdeckung werden entsprechend die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine verstanden, während das Deckgebirge per Definition alle Gesteine oberhalb des Einlagerungsbereichs bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereichs beinhaltet, also auch Teile des Wirtsgesteins (§ 2 Nr. 13 StandAG).

Für die Indikatoren wird außerdem eine mächtige Überdeckung mit „günstig“ bewertet (siehe Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Allerdings definiert das StandAG den Begriff „mächtig“ nicht weiter. Eine genaue Bewertung und Festlegung der notwendigen der Mächtigkeit der im Deckgebirge vorkommenden grundwasserhemmenden und erosionshemmenden Gesteine ist erst mittels numerischen Simulationen im späteren Verlauf des Verfahrens möglich. Auf Basis des Indikators „Barrierenmächtigkeit“ (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG, siehe Kapitel 7.2.3) wird für eine erste Einschätzung der Indikatoren angenommen, dass eine mächtige Überdeckung eine Mächtigkeit von 150 Metern nicht unterschreiten sollte.

7.11.3 Indikator – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge

7.11.3.1 Beschreibung – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge

Der Indikator „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ bewertet die Mächtigkeit und die räumliche Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge.

Nach der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (K-Drs. 268, S. 333) handelt es sich bei grundwasserhemmenden Gesteinen vereinfacht um nichtsalinare Gesteinstypen geringer Gebirgsdurchlässigkeit. Wie in Beushausen et al. (2020, S. 27) ausgeführt, steht diese Definition im Widerspruch zur Definition des Deckgebirges nach § 2 Nr. 13 StandAG, da das Deckgebirge Teile des Wirtsgesteins, folglich auch des Wirtsgesteins Steinsalz, enthalten kann.

Dementsprechend wird der Begriff grundwasserhemmendes Gestein als Gesteinstyp mit geringer Durchlässigkeit interpretiert. Grundwassergeringleiter weisen im Vergleich zu den umgebenden Schichten eine geringe Permeabilität auf. Der Durchlässigkeitsbeiwert für Grundwassergeringleiter wird in der Literatur mit 10^{-5} m/s bis 10^{-9} m/s angegeben (Coldewey & Göbel 2015; Prinz & Strauß 2011).

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 42 aufgeführt.

Tabelle 42: *Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge*

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch günstigen Aufbau des Deckgebirges gegen Erosion und Subrosion sowie ihre Folgen (insbesondere Dekompaktion)	Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	mächtige vollständige Überdeckung, geschlossene Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Überdeckung, flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	fehlende Überdeckung, Fehlen grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge

7.11.3.2 Anwendung – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge

Flächendeckende Informationen zum Aufbau des Deckgebirges und insbesondere zur Mächtigkeit und räumlichen Verbreitung von grundwasserhemmenden Gesteinen werden absehbar erst in späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens zur Verfügung stehen. In der jetzigen Phase kann deshalb nur eine erste Einschätzung erfolgen. Die Bewertung erfolgt daher vereinfacht anhand der im Deckgebirge vorhandenen stratigraphischen Horizonte. Im Gegensatz zum kristallinen Wirtsgestein und Tongestein ist das Wirtsgestein Steinsalz wasserlöslich. Aus diesem Grund erfolgt die Anwendung des Indikators unterschiedlich für die verschiedenen Wirtsgesteine.

1) Anwendung – Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz

Für die Bewertung ist folgendermaßen vorzugehen: Da der Gesetzgeber die ersten 100 Meter unter GOK als nicht schützenswert (§ 21 Abs. 2 StandAG) ansieht, wird davon ausgegangen, dass dieser Bereich des Untergrunds wenig bis nicht zum Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs beiträgt. Daher werden identifizierte Gebiete im Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz mit einer maximalen Teufe von

weniger als 100 Metern mit „ungünstig“ bewertet. Des Weiteren wird pauschal davon ausgegangen, dass das Quartär nicht grundwasserhemmend ist. Aus diesem Grund werden identifizierte Gebiete im Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz, welche das Quartär schneiden, mit „ungünstig“ bewertet. Dieses Vorgehen berücksichtigt unter anderem eventuell vorhandene quartäre Rinnen innerhalb des Deckgebirges. Für identifizierte Gebiete die nicht durch diese Kriterien mit „ungünstig“ bewertet wurden, gilt es im jetzigen Schritt des Verfahrens zu ermitteln, welche Überdeckung potenziell grundwasserhemmend ist. Dazu wird vereinfacht wie in Kapitel 7.11.2 beschrieben, in Anlehnung an Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG eine Mächtigkeit von 150 Metern gewählt, bei dessen Unterschreitung der Indikator mit „bedingt günstig“ bewertet wird. Liegt die Mächtigkeit der Überdeckung bei größer 150 Metern wird der Indikator mit „günstig“ bewertet. Diese Vorgehensweise ist schematisch in Abbildung 28 dargestellt.

Für die Auswertung soll ein GIS-Projekt angelegt werden. Als Datenbasis dient die Quartärbasis der Bundesländer, die Polygone der identifizierten Gebiete sowie die modellierte Oberfläche (als Punktdaten X, Y, Tiefenlage kleiner 1500) des zu betrachtenden identifizierten Gebietes, sowie eventuell vorhandene Bohrdaten und georeferenziertes Kartenmaterial. Im Falle, dass keine Daten für die Quartärbasis vorliegen soll der Wert 0 Meter unter GOK gewählt werden, dies führt im jetzigen Schritt des Verfahren zu einer „günstigeren“ Bewertung, sodass identifizierte Gebiete nicht aufgrund fehlender Daten ausgeschlossen bzw. „ungünstiger“ werden.

Im ersten Schritt wird anhand der Daten aus dem Geomodell die Oberfläche des Wirtsgesteins über dem jeweiligen identifizierten Gebiet mit Hilfe des ArcGIS Werkzeuges IDW („*Inverse Distance Weighted Interpolation*“) berechnet. Anhand der flächigen Darstellung lässt sich bestimmen, ob sich der Salzstock oder die Oberfläche der Formation innerhalb der ersten 100 Meter unter GOK befindet. Im zweiten Schritt wird die Quartärbasis von der modellierten Oberfläche des Wirtsgesteins abgezogen um eine flächige Darstellung des Abstandes zwischen Salzstock bzw. Oberfläche der Formation und der Quartärbasis zu erhalten. Dadurch kann bestimmt werden ob der Abstand zwischen Quartärbasis und Salzstock bzw. Oberfläche der Formation größer oder kleiner 150 Meter ist, bzw. ob ein Kontakt mit dem Quartär besteht (Abstand kleiner gleich 0 Meter).

In beiden Schritten der Auswertung gilt, dass sobald ein Pixel in dem 100 Meter mal 100 Meter Gitter der Auswertung eine „ungünstige“ Bewertung anzeigt, diese für das gesamte identifizierte Gebiet übernommen wird. Dieses Vorgehen wird aufgrund der Tatsache, dass Steinsalz wasserlöslich ist und sich dementsprechend der Kontakt des Wirtsgesteins mit grundwasserführenden Horizonten negativ auf den Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereich auswirkt, gewählt.

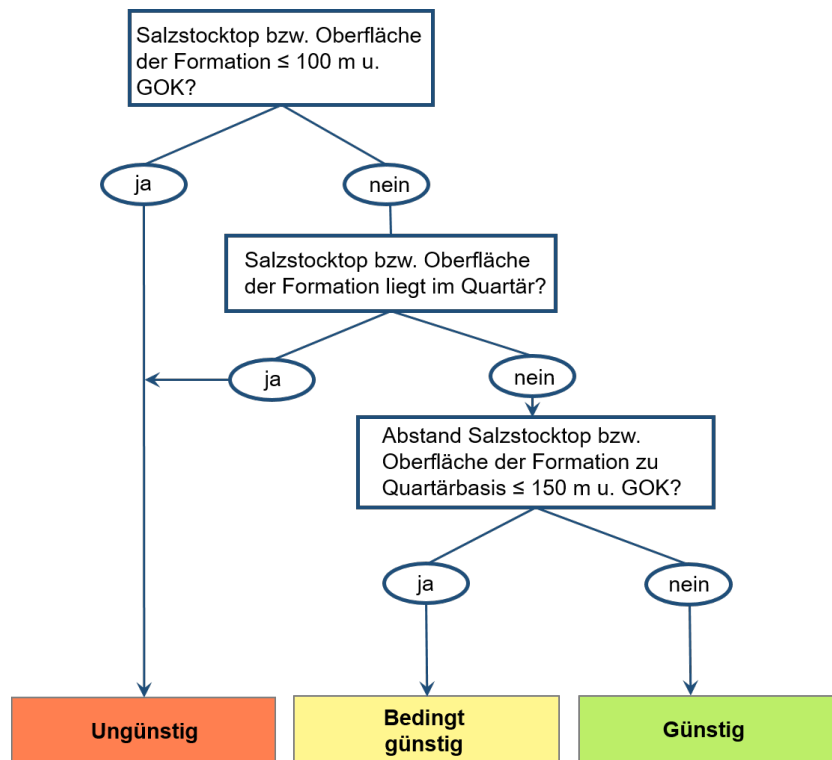


Abbildung 28: Schematischer Workflow für die Bewertung der Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für die Wirtsgesteine Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz

2) Anwendung – Tongestein und kristallines Wirtsgestein

Für die Bewertung ist folgendermaßen vorzugehen: Da der Gesetzgeber die ersten 100 Meter unter GOK als nicht schützenswert (§ 21 Abs. 2 StandAG) ansieht, wird davon ausgegangen, dass dieser Bereich des Untergrunds wenig bis nicht zum Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereich beiträgt. Für Formationen, welche für die gesamte Fläche des identifizierten Gebietes eine maximale Teufe von weniger als 100 Meter aufweisen, wird der Indikator mit „ungünstig“ bewertet. Des Weiteren wird pauschal davon ausgegangen, dass das Quartär nicht grundwasserhemmend ist. Aus diesem Grund werden Formationen, welche das Quartär schneiden, mit „ungünstig“ bewertet, wenn dies für die gesamte Fläche des identifizierten Gebietes erfüllt ist. Für Formationen die nicht durch diese Kriterien mit „ungünstig“ bewertet wurden, gilt es im jetzigen Schritt des Verfahrens zu ermitteln, welche Überdeckung potenziell grundwasserhemmend ist. Dazu wird vereinfacht wie in Kapitel 7.11.2 beschrieben in Anlehnung an Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG eine Mächtigkeit von 150 Meter gewählt, bei dessen Unterschreitung der Indikator mit „bedingt günstig“ bewertet wird. Liegt die Mächtigkeit der Überdeckung für das identifizierte Gebiet bei größer 150 Meter wird der Indikator mit „günstig“ bewertet. Dieses Vorgehen ist schematisch in Abbildung 29 dargestellt.

Für die Auswertung soll ein GIS-Projekt angelegt werden. Als Datenbasis dient die Quartärbasis der Bundesländer, die Polygone der identifizierten Gebiete sowie die modellierte Basisfläche und Mächtigkeiten der Formationen, sowie eventuell vorhandene Bohrdaten und georeferenziertes Kartenmaterial. Die Berechnung der Oberfläche und Abstand zur Quartärbasis erfolgt analog zu Steinsalz.

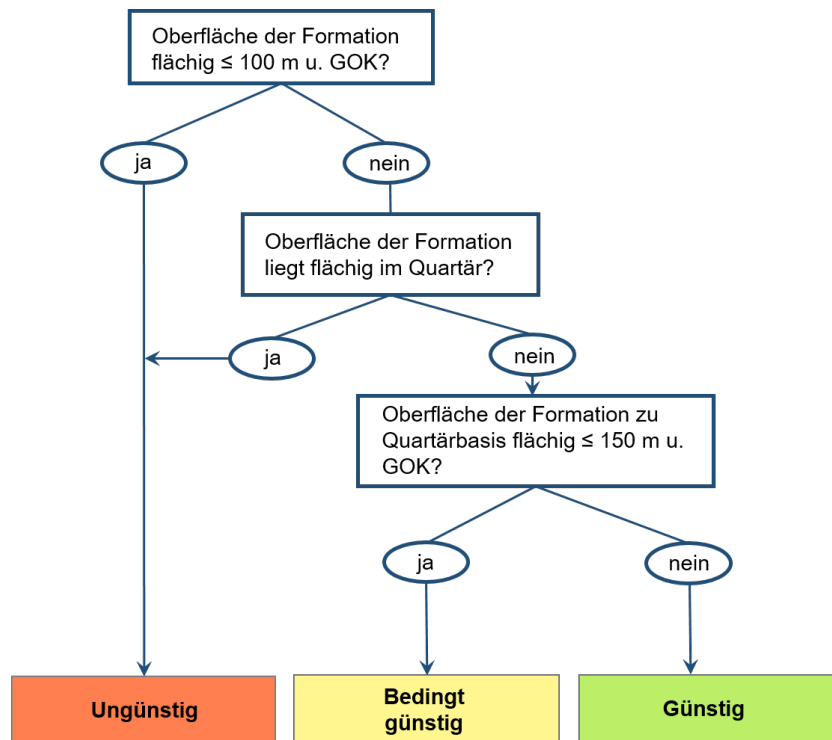


Abbildung 29: Schematischer Workflow für die Bewertung der Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für das Wirtsgestein Tongestein und das kristalline Wirtsgestein

7.11.4 Indikator – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich

7.11.4.1 Beschreibung – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Der Indikator „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ bewertet die Mächtigkeit und die räumliche Verteilung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge (Anlage 10 (zu § 24 Abs. 5) StandAG).

Nach der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (K-Drs. 268, S. 333) werden vereinfachend massige bis dickbankige, feste Sedimentgesteinskörper beziehungsweise massive Kristallingesteinskörper (wie als Wirtsgestein bevorzugt), beide mit weitständiger Klüftung, als besonders erosionshemmend aufgefasst. Ein geringerer Widerstand gegenüber Erosion ist dabei sowohl mit abnehmender Bankmächtigkeit, als auch abnehmenden Kluftabständen zu erwarten.

Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 43 aufgeführt.

Tabelle 43: *Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch günstigen Aufbau des Deckgebirges gegen Erosion und Subrosion sowie ihre Folgen (insbesondere Dekompaktion)	Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	mächtige vollständige Überdeckung, weiträumige geschlossene Verbreitung besonders erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Überdeckung, flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Verbreitung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	fehlende Überdeckung, Fehlen erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge

7.11.4.2 Anwendung – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Flächendeckende Informationen zum Aufbau des Deckgebirges und insbesondere zur Mächtigkeit und räumlichen Verbreitung von erosionshemmenden Gesteinen werden absehbar erst in späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens zur Verfügung stehen. In der jetzigen Phase kann deshalb nur eine erste Einschätzung erfolgen. Die Bewertung erfolgt daher vereinfacht anhand der im Deckgebirge vorhandenen stratigraphischen Horizonte.

Es wird pauschal davon ausgegangen, dass das Quartär nicht erosionshemmend ist. Die Bewertung dieses Indikators erfolgt im jetzigen Schritt des Verfahrens analog zum Indikator „Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereich“. Das Vorgehen für die Auswertung ist in Kapitel 7.11.3.2 beschrieben.

7.11.5 Indikator – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten

7.11.5.1 Beschreibung – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten

Der Indikator „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ bewertet das Ausmaß der Veränderungen der ursprünglichen Struktur der Gesteinstypen im Deckgebirge und deren Auswirkungen auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Alfarra et al. 2020, S. 168).

Als solche werden explizit Störungen, Scheitelgräben und Karststrukturen genannt (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG). Für den Indikator erfolgt die Bewertung der identifizierten Gebiete anhand der in Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG angegebenen Wertungsgruppen, wie in Tabelle 44 aufgeführt.

Tabelle 44 Auszug aus Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG – keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksame

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch günstigen Aufbau des Deckgebirges gegen Erosion und Subrosion sowie ihre Folgen (insbesondere Dekompaktion)	keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten	Deckgebirge mit ungestörtem Aufbau	strukturelle Komplikationen, aber ohne erkennbare hydraulische Wirksamkeit (zum Beispiel verheilte Klüfte/ Störungen)	strukturelle Komplikationen mit potenzieller hydraulischer Wirksamkeit

7.11.5.2 Anwendung – keine Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten

Flächendeckende Informationen zum Aufbau des Deckgebirges und zu strukturellen Komplikationen sowie deren hydraulische Wirksamkeit werden absehbar erst in späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens detailliert zur Verfügung stehen. In der jetzigen Phase kann deshalb nur eine erste Einschätzung erfolgen. Die Bewertung des Indikators erfolgt daher auf Grundlage der zu den Ausschlusskriterien und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gelieferten Daten zu Karststrukturen, Subrosion und Störungen, insbesondere Scheitelstörungen für Steinsalz in steiler Lagerung.

Zusätzlich erfolgt eine Prüfung, analog zu den Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“, ob die Oberfläche der Formation in einem identifizierten Gebiet innerhalb der ersten 100 Meter unter GOK oder dem Quartär liegt. Ist eine der zuvor genann-

ten Bedingungen, für Steinsalz in einem Punkt oder flächig für Tongestein und das kristalline Wirtsgestein, erfüllt, wird dies als eine potenzielle hydraulische Wirksamkeit gewertet. Die Bewertung erfolgt dementsprechend mit „ungünstig“. Um zwischen einem „ungestörten Deckgebirge“ und „strukturellen Komplikationen ohne erkennbare hydraulische Wirksamkeit“ zu unterscheiden, wird für jedes identifizierte Gebiet geprüft, ob eine strukturelle Komplikation vorliegt. Zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren ist eine Prüfung der potenziellen hydraulischen Wirksamkeit von strukturellen Komplikationen nicht möglich. Daher werden beobachtete Strukturen als „nicht erkennbar hydraulisch wirksam“ eingestuft und entsprechend mit „bedingt günstig“ bewertet. Dieses Vorgehen ist schematisch in Abbildung 30 für Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz dargestellt, sowie für Tongestein und das kristalline Wirtsgestein in Abbildung 31.

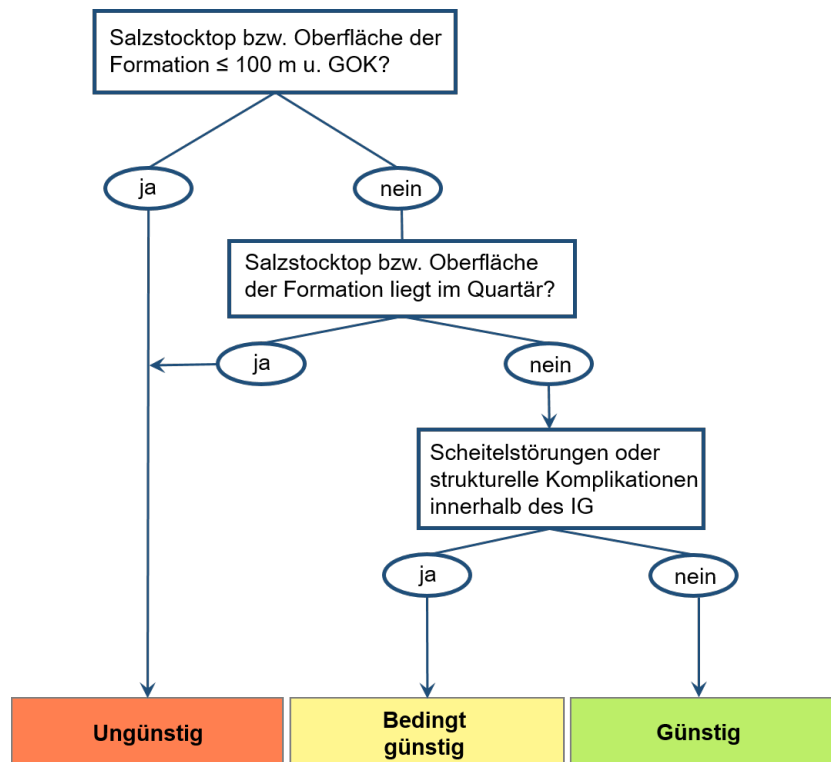


Abbildung 30: Schematischer Workflow für die Bewertung des Indikators „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für die Wirtsgesteine Steinsalz in steiler Lagerung und stratiformes Steinsalz

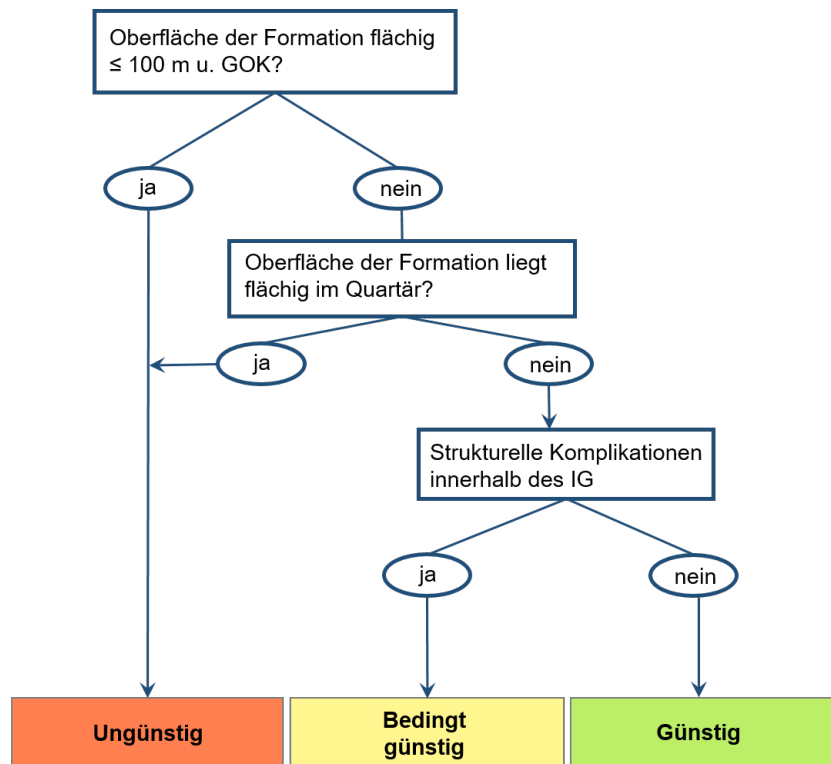


Abbildung 31: Schematischer Workflow für die Bewertung des Indikators „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ (Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5) StandAG) für das Wirtsgestein Tongestein und das kristalline Wirtsgestein

8 Arbeitshilfe für die zusammenfassende Bewertung je identifiziertes Gebiet

Für jedes identifizierte Gebiet ist im „Formular Gebiete“ des Bewertungsmoduls eine zusammenfassende Bewertung vorzunehmen. Diese erfolgt über die Wertungsgruppen „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“. Für diese Bewertung ist zwingend eine Begründung vorzunehmen, welche verbalargumentativ die Entscheidung für die gewählte Wertungsgruppe darlegt. Hauptentscheidungsgrundlage sind dabei die für die Indikatoren und Kriterien gewählten Bewertungen.

Literaturverzeichnis

- AkEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte: Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Köln
- Alfarra, A., Bertrams, N., Bollingerfehr, W., Eickemeier, R., Flügge, J., Frenzel, B., Maßmann, J., Mayer, K.-M., Mönig, J., Mrugalla, S., Müller-Hoeppe, N., Reinhold, K., Rübel, A., Schubarth-Engelschall, N., Simo, E., Thiedau, J., Thiemeyer, T., Weber, J. R. & Wolf, J. (2020): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Tongesteinsformation größerer Mächtigkeit (T1). 03.04.2020. Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. BGE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Braunschweig
- Andra (2005): Dossier 2005 Argile – Tome «Évolution phénoménologique du stockage géologique». Andra. o. O.
- Appel, D. (2016): Überarbeitung zu K-Drs./AG3-91a Geowissenschaftliche Kriterien Kap. 5.1.1 Anforderung 1, Abwägungskriterium "Diffusionsgeschwindigkeit". K-Drs./AG3-116. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe Berlin
- Appel, D. & Habler, W. (2001): Quantifizierung der Wasserdurchlässigkeit von Gesteinen als Voraussetzung für die Entwicklung von Kriterien zur Grundwasserbewegung Phase 1: Überprüfung der Datenbasis für die Abteilung von Kriterien zur Wasserdurchlässigkeit. K-MAT 12-01. Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. Hannover
- Atkins, P. W. (1990): Physical Chemistry. 4. Aufl., Berlin: Oxford University Press. ISBN 019855284X
- Becker, D.-A., Bertrams, N., Bollingerfehr, W., Eickenmeier, R., Flügge, J., Frenzel, B., Maßmann, J., Mayer, K.-M., Mönig, J., Mrugalla, S., Müller-Hoeppe, N., Reinhold, K., Rübel, A., Schubarth-Engelschall, N., Simo, E., Thiedau, J., Thiemeyer, T., Weber, J. R. & Wolf, J. (2020): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Kristallingesteinsformation mit mehreren einschlusswirksamen Gebirgsbereichen (K1). 03.04.2020. Berichtsentwurf. BGE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Braunschweig
- Bertrams, N., Bollingerfehr, W., Eickemeier, R., Fahland, S., Flügge, J., Frenzel, B., Hammer, J., Kindlein, J., Liu, W., Maßmann, J., Mayer, K.-M., Mönig, J., Mrugalla, S., Müller-Hoeppe, N., Reinhold, K., Rübel, A., Schubarth-Engelschall, N., Simo, E., Thiedau, J., Thiemeyer, T., Weber, J. R. & Wolf, J. (2020): Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in steil lagernden Salzformationen (S2) - Entwurf. 03.04.2020. Ergebnisse aus dem Vorhaben RESUS. BGE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Braunschweig
- Beushausen, M., Bebiolka, A., Kloke, R., Kuhlmann, G., Noack, V., Reinhold, K., Röhling, S. & Sönke, J. (2020): Abschlussbericht zum Konzept zur generellen Vorgehensweise zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien - Schritt 2. Hannover: BGR
- BGE (2020b): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

- BGE (2020d): Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.
Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BMU (2020): Entwurf der Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige
Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle - Stand
06.04.2020
- Boisson, J.-Y. (2005): Clay Club Catalogue of Characteristics of Argillaceous Rocks.
Paris, France: OECD/NEA. ISBN 926401067X
- Bourke, P. J., Jefferies, N. L., Lever, D. A. & Lineham, T. R. (1993): Mass transfer
mechanisms in compacted clays. In: D. Manning, P. Hall & C. Hughes (Hrsg.):
Geochemistry of Clay-Pore Fluid Interactions. S. 331-350, London, UK:
Chapman & Hall. ISBN 9780412489808
- Bracke, G., Hartwig-Thurat, E., Larue, J., Meleshyn, A. & Weyand, T. (2019):
Untersuchungen zu den „maximalen physikalisch möglichen Temperaturen“
gemäß § 27 StandAG im Hinblick auf die Grenztemperatur an der Außenfläche
von Abfallbehältern. Bericht GRS-A-3948. Gesellschaft für Anlagen- und
Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Köln
- Brasser, T. & Brewitz, W. (2002): Anwendbarkeit der Indikatoren “teufenabhängige
Mineralisation / Salzgehalt” für die Erfüllung der allgemeinen Anforderung “keine
oder langsame Grundwasserbewegung”. Bericht an den AKEnd. Gesellschaft für
Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Köln, Germany
- Brasser, T., Fahrenholz, C., Kull, H., Meleshyn, A., Mönig, H., Noseck, U., Schönwiese,
D. & Wolf, J. (2014): Natürliche Analoga im Wirtsgestein Salz. GRS - 365.
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. o. O. ISBN
9783944161464
- Brasser, T., Herbert, H. J., Mieke, R. & Schmidt, G. (2008): Anhang Wirtsgesteine
Potenzielle Wirtsgesteine und ihre Eigenschaften. Endlagerung
wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland. Anhang zu GRS - 247.
Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Öko-Institut e.V. Braunschweig
- Brasser, T., Mönig, J., Scherschel, C. & Veerhoff, M. (2002): Sorptionsdatenbank SODA
- Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung geochemischer
Informationen zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckgebirge einer
UTD/UTV. GRS-182. Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS)
mbH. Köln. ISBN 393199550X
- Bräuer, V., Dohrmann, R., Enste, G., Fahland, S., Gräsle, W., Hammer, J., Hertzsch, J.-
M., Hesser, J., Heusermann, S., Kaufhold, S., Landsmann, B., Maßmann, J.,
Mertineit, M., Mrugalla, S., Schäfers, A., Schramm, M., Schuster, K., Sönke, J.,
Stadler, S., Stührenberg, D., Weber, J. R. & Weitkamp, A. (2016): Beratung der
Endlagerkommission 9S2014010000. Antworten der Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe zum Pflichtenheft "Literaturstudie
Wärmeentwicklung - Gesteinsverträglichkeit". K-MAT 55. Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover
- BT-Drs 18/11398 (2017): Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur
Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde
radioaktive Abfälle und anderer Gesetze
- Coldewey, W. G. & Göbel, P. (2015): Hydrogeologische Gelände- und Kartiermethoden.
Berlin: Springer Spektrum. ISBN 9783827417886. DOI: 10.1007/978-3-8274-
2728-1

- DBE TEC (2016): Gutachten - Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle. K-MAT 58. DBE Technology GmbH, o. O.
- Fleig, S. & Röhling, S. (2019): InSpEE-DS: Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung erneuerbarer Energien in Doppelsalinaren und flachlagernden Salzen. [Online]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Zugriff am: 25.08.2020.
https://www.robaha.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Veranstaltungen/2019/Hauskolloquium_2019_2020/Bilder/2019-11-26_01_g.html;jsessionid=091F6F48EB9FA03D1B87771E42BCD3FA.2_cid321?nn=1545784
- Frisch, U. & Kockel, F. (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands: Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen. Fachbereich Geowiss., Univ. Bremen. ISBN 0931-0800
- Heemann, U., Kull, H., Li, S., Mieke, R. & Müller, C. (2014): VIRTUS Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz Anhang B Protokolle Literaturlauswertung der Daten zum thermisch-hydraulisch-mechanischen Materialverhalten von Salzgesteinen und EBS-Materialien. GRS - 354 Anhang B. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. o. O. ISBN 9783944161341
- Hörling, B. (1984): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Stuttgart, Germany: Enke Verlag. ISBN 3432907923
- Hörling, B. & Coldewey, W. G. (2019): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Aufl., Springer eBooks, Berlin: Springer Spektrum. ISBN 9783662596678
- Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K., Bräuer, V., Krull, P. & Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. Berlin / Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Jacops, E., Aertsens, M., Maes, N., Bruggeman, C., Swennen, R., Krooss, B., Amann-Hildenbrand, A. & Littke, R. (2017): The Dependency of Diffusion Coefficients and Geometric Factor on the Size of the Diffusing Molecule: Observations for Different Clay-Based Materials. Geofluids, Bd. 2017, S. 1-16. ISSN 14688115. DOI: 10.1155/2017/8652560
- Jaritz, W. (1983): Das Konzept der Erkundung des Salzstocks Gorleben von Übertage und die Festlegung von Schachtstandorten. In: W. Jaritz (Hrsg.): Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. S. 19-33, Stuttgart: Schweizerbart. ISBN ISSN 0077-7749
- Jentzsch, G. (2002): Temperaturverträglichkeit der Gesteine - Neigung zur Ausbildung von Wasserwegsamkeiten. K-MAT 12-13. Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena. Jena
- Jobmann, M., Bebiolka, A., Jahn, S., Lommerzheim, A., Maßmann, J., Meleshyn, A., Mrugalla, S., Reinhold, K., Rübcl, A., Stark, L. & Ziefle, G. (2017): Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager in Tonstein (ANSICHT). Synthesebericht TEC-19-2016-AB. BGR, GRS, DBE TECHNOLOGY GmbH. Peine
- K-Drs. 268 (2016): Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe Berlin

- Kienzler, B., Schüßler, W. & Metz, V. (2001): Ermittlung von Eignungskriterien von geologischen Formationen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle mittels geochemischer Analysen. Günstige hydrochemische Verhältnisse. FZK-INE 03/01. Institut für Nukleare Entsorgungstechnik (INE) Forschungszentrum Karlsruhe. Karlsruhe
- Kockel, F. & Krull, P. (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover
- Krull, P., Hoth, P., Bräuer, V. & Wirth, H. (2004): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland - Untersuchungswürdige Regionen mit potentiellen Wirtsgesteinsformationen: Zwischenbericht. Berlin / Hannover: BGR
- Larue, J., Brasser, T., Fischer-Appelt, K., Moenig, J., Kienzler, B., Schüßler, W. & Metz, V. (2001): Indikatoren für die Erfüllung der allgemeinen Anforderung "günstige hydrochemische Bedingungen. K-MAT 12-17. Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. Köln
- Lux, K.-H. & Eberth, S. (2002a): Entwicklung und Fundierung der Anforderung "Geringe Neigung zur Bildung von Wegsamkeiten". Gutachten im Auftrag des AkEnd K-MAT 12-19. TU Clausthal. Clausthal-Zellerfeld
- Lux, K.-H. & Eberth, S. (2002b): Entwicklung und Fundierung der Anforderung "Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen" Teil B: Weiterführende laborative und rechnerische Untersuchungen. Gutachten im Auftrag des AkEnd K-MAT 12-21. TU Clausthal. Clausthal-Zellerfeld
- Lux, K.-H., Eberth, S. & Lomo-Appeyh, G. M. (2002): Entwicklung und Fundierung der Anforderung "Günstige gebirgsmechanische Voraussetzung" Teil A: Grundlegende rechnerische Untersuchungen. Gutachten im Auftrag des AkEnd K-MAT 12-20. TU Clausthal. Clausthal-Zellerfeld
- Mazurek, M., Gautschi, A., Marschall, P., Vigneron, G., Lebon, P. & Delay, J. (2008): Transferability of geoscientific information from various sources (study sites, underground rock laboratories, natural analogues) to support safety cases for radioactive waste repositories in argillaceous formations. Physics and Chemistry of the Earth, Bd. 33, S. 95-105. ISSN 14747065. DOI: 10.1016/j.pce.2008.10.046
- McKinley, I. G. & Scholtis, A. (1992): Compilation and comparison of radionuclide sorption databases used in recent performance assessments. INIS -XN--429. Nuclear Energy Agency of the OECD (NEA). Wetingen (Switzerland)
- Meleshyn, A., Weyand, T., Bracke, G., Kull, H. & Wieczorek, K. (2016): Wärmeentwicklung/Gesteinverträglichkeit. Kommission Lagerung radioaktiver Abfallstoffe K-MAT 64. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
- Mengel, K. (2006): Einfluss der Temperaturerhöhung auf die mineralogischen und anorganisch-chemischen Eigenschaften von Kreide-Tonformationen (Apt). Abschlussbericht. Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe, Technische Universität Clausthal-Zellerfeld. Clausthal-Zellerfeld, Deutschland
- Nagra (1993): Geologische Grundlagen und Datensatz zur Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers für schwach-und mittelaktive Abfälle am Standort Wellenberg. Untersuchungen zur Standorteignung im Hinblick auf die Endlagerung schwach-und mittelaktiver Abfälle. Technischer Bericht 93-28.

- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra).
Wettingen, Schweiz
- Nagra (2002): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen
Untersuchungsergebnisse. Entsorgungsnachweis für abgebrannte
Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle.
Technischer Bericht 02-03. Nationale Genossenschaft für die Lagerung
radioaktiver Abfälle (Nagra). Wettingen, Schweiz. ISBN 1015-2636
- Noseck, U. (1996): Auswertung von Sorptionsdaten hinsichtlich nichtlinearer
Sorptionsmodelle für die Nuklid Ausbreitung im Deckgebirge. GRS-134.
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. Braunschweig
- Pollok, L., Hölzner, M. & Fleig, S. (2016): AP 2 – Erfassung des Internbaus von
Salzstrukturen und geologische 3D-Modellierung. In: Informationssystem
Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und
Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von
Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft). Sachbericht 03ESP323B.
Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Prinz, H. & Strauß, R. (2011): Ingenieurgeologie. 5. Aufl., Heidelberg: Spektrum
Akademischer Verlag. ISBN 9783827424723. DOI: 10.1007/978-3-8274-2473-0
- Reinhold, K., Hammer, J. & Pusch, M. (2014): Verbreitung, Zusammensetzung und
geologische Lagerungsverhältnisse flach lagernder Steinsalzfolgen in
Deutschland: Zwischenbericht. Stand: 10.12.2014. Aufl., Hannover: Bundesanst.
f. Geowiss. u. Rohstoffe
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch
Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden
ist
- Zagora, I. & Zagora, K. (2004): Zechstein. In: G. Katzung (Hrsg.): Geologie von
Mecklenburg-Vorpommern. S. 132-139, Stuttgart: E. Schweizerbart'sche
Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). ISBN 9783510652105

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55
31224 Peine
T +49 05171 43-0
poststelle@bge.de
www.bge.de